

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département Chimie

Mémoire de fin d'étude

Présentées par :

SELLAM Meriem

BENTAHAR Fatima Zohra

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : Chimie

Option : Chimie de l'environnement

Thème :

**CARACTERISATION DE L'AEROSOL ATMOSPHERIQUE ET LEUR
IMPACT SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : COMPRENDRE
LES OBJECTIFS DE L'ACCORD DE PARIS (COP21)**

Devant le jury composé de :

BERRICHE Lakhdar	Maître de Conférences B	UAMOB	Président
HAMRI Nadia	Maître Assistant A	UAMOB	Examinatrice
ANNANE Ouerdia	Maître Assistant A	UAMOB	Examinatrice
KHEDIDJI Sidali	Maître de Conférences B	UAMOB	Encadreur

Année Universitaire 2019/2020

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu Dieu, le tout puissant, qui a donné la force, la santé, la volonté et la patience de suivre nos études et d'arriver à ce stade.

Nos profonds remerciements à nos parents qui nous ont beaucoup soutenus pendant tout au long de notre parcours avoir donné l'aide afin de réaliser ce modeste travail. Merci de nous avoir toujours permis de faire ce que nous aimons et de nous avoir soutenu jusqu'au bout, c'est en grande partie grâce à vous que nous sommes arrivés là. Votre courage sera toujours un exemple pour nous.

*Nous souhaitons tout d'abord exprimer nos remerciements à notre Encadreur **Dr. KhEDIDJI** pour nous avoir proposé ce sujet pour leur disponibilité, leur critique, leur orientation, et leur précieux conseil. Nous le remercions aussi pour la confiance qu'il nous a donné au long de ce travail.*

*Nous remercions vivement **Dr. BERRICHE**, Maître de Conférences Classe B à l'Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, qui nous a fait l'honneur de présider ce jury.*

*Notre gratitude va également à **Mme HAMRI**, Maître Assistante Classe A à l'Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, qui nous a fait l'honneur d'examiner ce document et de faire partie du jury.*

*Nous remercions chaleureusement aussi **Mme ANNANE**, Maître Assistante Classe A à l'Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, pour avoir accepté d'examiner ce travail et de faire partie du jury.*

Nos remerciements s'adressent finalement à tous ceux qui nous ont soutenu moralement et financièrement afin d'accomplir ce travail.

Nous visons particulièrement par ces remerciements nos familles et nos amis.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

Partie 01 :

Généralité sur les aérosols atmosphériques et leurs influences sur le climat

I.1.	Introduction	3
I.2.	L'atmosphère	4
I.2.1.	Les différentes couches de l'atmosphère	4
I.2.2.	Variation de la température et de la pression atmosphérique	6
I.2.3.	Composition chimique de l'atmosphère	6
I.2.4.	Le bilan radiatif terrestre	7
I.3.	La pollution atmosphérique	8
I.3.1.	Définition	8
I.3.2.	Les polluants gazeux	9
	a) L'ozone	9
	b) Le monoxyde de carbone	9
	c) Le dioxyde de soufre	9
I.3.3.	Les polluants particuliers	9
	a) Les métaux lourds	9
	b) Les particules en suspension (les aérosols)	10
I.4.	Principales sources de pollution atmosphérique	10
I.4.1.	Sources naturelles	10
I.4.2.	Sources anthropique	10
I.5.	Les grands problèmes de la pollution atmosphérique	11
I.5.1.	Ozone	11
	a) Ozone stratosphérique	12
	b) Ozone troposphérique	12
I.5.2.	La destruction de la couche d'ozone	13
I.5.3.	L'effet de serre	13
I.5.4.	Les pluies acides	15
I.6.	Les aérosols	16
I.6.1.	La Composition chimique des aérosols	17
I.6.1.1.	La fraction inorganique	17

	a) La fraction minérale soluble dans l'eau	17
	b) La fraction minérale insoluble dans l'eau	18
I.6.1.2.	La fraction carbonée (TC)	18
	a) Le carbone élémentaire (EC)	18
	b) La fraction organique (OC)	18
I.6.2.	Les origines d'aérosols	19
I.6.2.1.	Les aérosols d'origine primaire	19
I.6.2.2.	Les aérosols d'origine secondaire	19
I.6.3.	Les sources d'aérosols	19
I.6.3.1.	Sources naturels	19
	a) L'aérosol marin	19
	b) L'aérosol sulfate	20
	c) L'aérosol continental	21
	d) L'aérosol biogénique	22
I.6.3.2.	Les aérosols anthropiques	22
I.6.3.2.1.	L'aérosol issu de processus de combustion	23
	a) La combustion de biomasse	23
	b) La combustion de fuels fossiles	23
I.6.4.	Structure de l'aérosol.....	24
I.6.5.	Modes de formation des aérosols	25
I.7.	Changement climatique	26
I.7.1.	Les causes possibles d'un changement climatique	27
I.7.2.	L'impact des aérosols sur le changement climatique	28
	a) Effets directs	28
	b) Effets indirects	28
	c) Autres impacts	29
I.8.	Les protocoles liées au changement climatique	30
I.9.	Conférences des parties ou « conférence of the parties » (COP)	30
I.9.1	La COP 21 (Paris 2015)	31
I.9.1.1	Un accord juridique universel et applicable à tous.....	31
I.9.1.2	Un accord juste et différencié.....	32
I.9.1.3	Un accord durable et dynamique.....	32
I.9.2.	L'objet de l'Accord COP21.....	33

Partie II :

Caractérisations physico-chimiques des aérosols

II.1.	Introduction	34
II.2.	Analyses chimiques des particules	34
II.2.1.	Les prélèvements des aérosols	34
II.2.1.1.	Les prélèvements manuels	34
II.2.1.2.	Prélèvement par le système TEOM:(Tapered Element Oscillating Microbalance)	35
II.2.1.3.	Prélèvement automatique (PARTISOL)	36
II.2.1.4.	Choix des types des filtres	36
II.2.2.	Analyse de la fraction organique d'aérosol par la chromatographie en phase gazeuse couplée à spectrométrie de masse (GC-SM)	37
II.2.2.1.	Conditions opératoires (GC-SM)	37
II.2.2.2.	Principe de la méthode (GC-SM)	37
II.2.3.	Analyse de la fraction inorganique d'aérosol par la chromatographie ionique	38
II.2.4.	Analyse de la matière carbonée EC/OC d'aérosol par thermo-optique	39
II.2.5.	Spectromètre de masse d'aérosols (AMS)	41
II.2.6.	Spectrométrie de fluorescence X	42
II.2.7.	Exemple des résultats obtenus en utilisant ces techniques d'analyse chimique	44
II.3.	Analyses physiques et optique des aérosols	51
II.3.1.	Détection de la lumière et télémétrie (Light Detection And Ranging, LIDAR)	51
II.3.2.	Spectrométrie de mobilité électrique (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS)	52
II.3.2.1.	Analyseur de mobilité différentielle (Differential Mobility Analyser, DMA)	54
II.3.2.2.	Compteur de particules à condensation (Condensation Particle Counter, CPC)	55
II.3.2.3.	Compteur optique de particules (Optical Particle Counter, OPC)	56
	Référence	58
	CONCLUSION GENERALE	62

Partie 01 :

Tableau I.1.	Caractéristiques des principaux constituants chimiques gazeux de l'atmosphère.....	7
Tableau I.2.	Les sources des gaz a effet de serre	14

Partie 02 :

Tableau II.1.	Concentrations moyennes en ions, éléments métaux, OC/EC et des composés organiques dans les aérosols atmosphériques, collectés durant la campagne (2011-2012), à Bou Ismail.....	44
---------------	--	----

Partie 01 :

Fig. I.1	Composants majeurs de l'environnement	3
Fig. I.2	Représentation des couches atmosphériques	4
Fig. I.3	Représentation de la variation de la température et de la pression dans les couches atmosphériques	6
Fig. I.4	Transformations de l'énergie solaire incidente et différents processus du bilan radiatif terrestre	8
Fig. I.5	Les différentes sources d'émissions.....	11
Fig. I.6	La formation des pluies	15
Fig. I.7	Photographies d'aérosols atmosphériques réalisés au microscope électronique : débris végétal (à gauche) et particule de suie à côté d'un agrégat minéral (à droite). Lisa/CNRS	16
Fig. I.8	Proportions relatives des fractions inorganiques et organiques, solubles et insolubles, en fonction de la taille de la particule	17
Fig. I.9	Sources d'aérosols marins	20
Fig. I.10	Images obtenues par microscope électronique de quelques aérosols sulfates ...	21
Fig. I.11	Source d'aérosol continental	21
Fig. I.12	Divers sources biogéniques	22
Fig. I.13	Sources anthropiques d'aérosols	24
Fig. I.14	Structure de l'aérosol	24
Fig. I.15	Processus de formation et d'évolution des aérosols dans l'atmosphère	25
Fig. I.16	Schéma du système climatique présentant les différentes composantes du système.....	27
Fig. I.17	Représentation des différents effets radiatifs (a) direct et (b) indirect, des aérosols	29

Partie 02 :

Fig. II.1	Schéma de principe de prélèvement manuel	35
Fig. II.2	Schéma de principe de prélèvement par le système TEOM	35
Fig. II.3	Schéma de prélèvement automatique PARTISOL PLUS®	36

Fig. II.4	Chaîne analytique utilisée pour la spéciation de la matière organique particulaire	38
Fig. II.5	Exemple d'un échange anionique régi par l'équation d'équilibre qui détermine la répartition de l'espèce entre la ϕ mobile et la ϕ stationnaire	39
Fig. II.6	Schéma de principe de fonctionnement de la méthode thermo optique	40
Fig. II.7	Schéma illustrant la composition d'un AMS	42
Fig. II.8	Phénomènes d'excitation et de désexcitation de l'atome	44
Fig. II.9	Série chronologique de concentration des concentrations cumulées de n-alcanes, hopanes, n-alcan-2-one, HAP et leurs dérivés	45
Fig. II.10	Séries chronologiques de concentration des principaux ions mesurées à Bou Ismaïl (2011–2012)	48
Fig. II.11	Série chronologique de concentration de matière carbonée (EC / OC) mesurée à Bou Ismaïl (2011–2012)	49
Fig. II.12	Séries chronologiques de concentration des principaux éléments métalliques mesurées à Bou Ismaïl (2011–2012)	50
Fig. II.13	Principe de Linder direct	52
Fig. II.14	Schéma de fonctionnement de SMPS	54
Fig. II.15	Schéma de principe du DMA	55
Fig. II.16	Schéma de principe du CPC	56
Fig. II.17	Principe de fonctionnement OPC	57

A

AOS : Aérosol Organique Secondaire

AMS : Spectromètre de masse d'aérosols

B

BC : Black Carbon (carbone suie)

C

CO : Monoxyde de carbone

CO₂ : Dioxyde de carbone

CFC : Carbone -Fluor-Chlorure

CFCs : Chlorofluorocarbones

COVs : Composés organiques volatils

CCl₄ : Tétrachlorure de carbone

ClCH₃ : Méthyle chloroforme

COVB : Composé organique volatil
biogénique

CCN : (Cloud Condensation Nuclei)
Noyaux de Condensation de Nuages

CCNUCC : Convention-cadre des
Nations Unies sur les changements
climatiques

COP21 : Conférence de
Paris (Conference of the Parties)

CG : Chromatographie en phase gazeuse

CG/MS : Chromatographie en phase
gazeuse couplée à la spectrométrie de
masse

CI : Chromatographie ionique

CNRS : Centre National de la
recherche scientifique

CPC : Condensation Particle Counter

D

DMS : Sulfure de diméthyle

DMA : Differential Mobility Analyser

E

EC : Carbone élémentaire

EI : Impacte électronique (Electron
Impact)

F

FID : Détection à ionisation de flamme

G

GIEC : Groupement
Intergouvernemental d'Experts sur les
évaluations du Climat

GES : Gaz à effet de serre

H

HAP : Hydrocarbure aromatique
polycyclique

HCFC : Hydrochlorofluorocarbures

HFC : Hydrofluorocarbures

I

INDC : Intended Nationally Determined Contributions

IR : Infra Rouge

L

Lisa : Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques

LIDAR : Light Detection And Ranging

O

OC : Carbone organique

ONU : Organisation non gouvernementale

ONG : Organisation des Nation Unies

OPC : Optical Particle Counter

M

MS : Spectrométrie de masse

MSA : Acide méthane sulfonique

N

NO_x : Oxydes d'azote

nss : No sea sulfate (sulfate non marine)

P

PCB : Polychlorobiphényles

PM : Particulate matter (Matière particulaire)

PFC : Perfluorocarbure

PToF : Temps de vol des particules (Particle Time of Flight)

S

SF₆ : Hexafluorure de soufre

SP 95 : Sans plomb indice l'octane de 95

SMPS : Scanning Mobility Particle Sizer

T

TC : Total Carbon

TOT : Méthode Thermo-optique de transmission

TEOM : Tapered Element Oscillating Microbalance

U

UV : Ultra-Violet

X

XRF : Rayons X de fluorescence

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'atmosphère est un réservoir complexe dans lequel coexistent des espèces gazeuses, des particules solides d'aérosols et des gouttelettes liquides. Ce réservoir est à l'interface entre l'espace, d'où provient la lumière du soleil, et la surface du globe. Pour les espèces vivant sur Terre, l'atmosphère joue plusieurs rôles absolument cruciaux pour leur survie : régulation de la température de surface, effet de serre, filtration des rayons UV du soleil, formation des précipitations, respiration... Le caractère extrêmement complexe du fonctionnement de l'atmosphère oblige logiquement à séparer son étude selon plusieurs catégories.

Une description précise de la composition chimique de l'atmosphère est à présent requise pour faire face à des nombreux enjeux environnementaux, que ce soit à l'échelle globale (changement climatique, capacité oxydante de la troposphère, trou d'ozone stratosphérique), régionale (pollution transfrontière) ou locale (accident industriel, qualité de l'air urbain).

Le changement climatique est l'un des plus grands enjeux environnementaux auxquels nos sociétés auront à faire face et devront répondre à la fois à l'échelle du globe et aux échelles régionales par des politiques de développement durable tels que le Sommet de la Terre (Rio de Janeiro, 1992) et le Protocole de Kyoto (1997) et la conférence de Partie (COP). Une augmentation même limitée, de la température moyenne de la Terre aurait des conséquences importantes sur l'agriculture, les forêts et les cycles hydrologiques et sur la biosphère.

D'autre part, la reconnaissance du rôle chimique des aérosols est bien plus récente.

En effet, la diversité des aérosols couplée à l'incroyable complexité chimique de la troposphère fait que de nombreuses nouvelles voies réactionnelles deviennent possibles et certaines ont fait l'objet d'un nombre grandissant de travaux. Celle-ci joue en effet un grand rôle dans la formation des nuages et donc un effet crucial sur le changement climatique. Il y a donc un intérêt grandissant à étudier ces aérosols selon leurs caractères chimiques, physiques et optiques.

Dans ce travail, nous avons prévu de prélever, caractériser et étudier les aérosols atmosphériques et connaître leur impact sur le changement climatique. Compte tenu des conditions que traverse le monde en raison de la pandémie du COVID-19, nous n'avons pas pu effectuer la partie expérimentale. Quant à l'étude bibliographique, elle a été structurée comme suit :

- La première partie est une rappelle sur les généralités des aérosols atmosphériques (sources, formation, composition chimique, l'impact sur le climat,) et l'objectif de l'accord de paris COP21.
- La deuxième partie comporte les techniques d'échantillonnage (système de prélèvement, choix de filtre) et les différentes techniques d'analyse physico-chimique et optique des aérosols.
- À l'issue de cette étude, une conclusion générale est donnée.

Partie I :

Généralité sur les aérosols atmosphériques
et leurs influences sur le climat

I.1.l'environnement [1]

De nos jours, l'environnement est l'un des sujets les plus importants dans le monde qui sont utilisés sous différents aspects.

Souvent, l'environnement se rapporte à ce qui vit, c'est-à-dire aux hommes, aux animaux, aux plantes et aux microorganismes. Ces espèces vivantes dépendent les unes des autres et de leur milieu, qui se compose d'innombrables éléments influents, qu'on appelle les facteurs écologiques. De tels facteurs correspondent à toutes les influences extérieures possibles, auxquelles les êtres vivants peuvent être exposés.

L'environnement est donc l'ensemble de toutes les influences directes et indirectes exercées sur l'être vivant et de ses relations avec le reste du monde. Au sens le plus large, à côté de l'environnement naturel, les environnements sociaux et intellectuels en font également partie ; dans la suite le concept d'environnement sera utilisé dans son sens restreint.

Les actions exercées sur les êtres vivants peuvent être réparties selon différents points de vue, par exemple:

- influences dues à des facteurs abiotiques (sans vie) et biotiques (vivants),
- influences climatiques, chimiques ou mécaniques,
- influences naturelles et anthropogéniques, provoquées par l'homme, etc.

Souvent, on parle de biosphère (du grec bios : vie ; du latin sphaira, sphère : globe terrestre) à la place d'environnement et on pense alors à l'ensemble des zones de la Terre peuplées par des organismes vivants, êtres humains, animaux, plantes, microorganismes, c'est-à-dire l'atmosphère jusqu'à environ 25 km d'altitude, les mers jusqu'à 10 km de profondeur et la croûte terrestre jusqu'à environ 3 km de profondeur.

Mais quelles que soient les limites prises en compte, l'environnement est de toute façon un système complexe, dans lequel le sol, l'eau, l'air, le monde des animaux et des plantes, ainsi que le climat en sont les composants majeurs (figure I.1.)

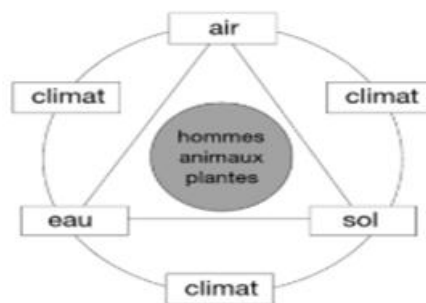


Fig. I.1. Composants majeurs de l'environnement.

I.2. L'atmosphère

Pour beaucoup de gens, l'atmosphère, c'est seulement l'air que nous respirons.

En réalité, c'est beaucoup plus que cela! L'atmosphère est la couche d'air qui entoure la terre, elle est un mélange de différents gaz et particules.

L'atmosphère terrestre est maintenue autour de la Terre par gravitation et une de ses caractéristiques est la distribution verticale de sa température et de sa pression. Elle est constituée par une série de couches concentriques de densité décroissante de la surface de la terre à sa limite supérieure.

I.2.1. Les différentes couches de l'atmosphère [2]

Les variations verticales de température sont très différentes des variations de pression et de densité: la température décroît et augmente alternativement avec l'altitude, de façon quasi-linéaire (figure. I.2), en restant comprise entre environ 200 et 300 K. Cette structure verticale de la température permettent de diviser l'atmosphère en un certain nombre de couches aux propriétés différentes.

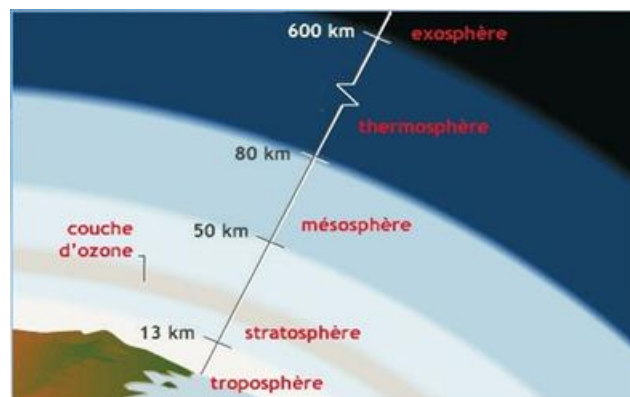


Fig. I.2. Représentation des couches atmosphériques.

- **La troposphère** s'étend jusqu'à environ 6 km d'altitude aux pôles et 15 km à l'équateur et contient 80% de la masse de l'atmosphère. La température y décroît en moyenne de 6.5°C par kilomètre.

La troposphère est une couche relativement bien mélangée sur la verticale, sauf en certaines couches minces, appelées inversions, où la température décroît peu ou même augmente avec l'altitude.

La troposphère est la couche où ont lieu la plupart des phénomènes météorologiques accessibles à l'expérience humaine. La partie inférieure de la troposphère contient la

couche limite atmosphérique située juste au-dessus de la surface, d'épaisseur variant de quelques centaines de m à 3 km et définie comme la partie de l'atmosphère influencée par la surface sur de courtes échelles de temps. La couche limite atmosphérique est le siège de mouvements turbulents organisés au cours de l'après-midi qui opèrent un mélange des espèces chimiques qui y sont émises.

- **La stratosphère** est située au-dessus de la troposphère. L'altitude au-dessus du sol de la tropopause peut varier entre 15 et 50 km. Contrairement à la troposphère, la stratosphère contient très peu de vapeur d'eau (à cause des températures très basses rencontrées à la tropopause) mais la majorité de l'ozone O_3 .

L'absorption par l'ozone du rayonnement solaire ultraviolet, de longueur d'onde moindre que le rayonnement visible et plus énergétique, explique que la température dans la stratosphère est d'abord isotherme, puis augmente avec l'altitude jusqu'à un maximum à la stratopause. Cette structure verticale très stable inhibe fortement les mouvements verticaux, ce qui explique que la stratosphère soit organisée en couches horizontales. Le temps de résidence de particules dans la stratosphère est très long à cause de l'absence de nuages et précipitations.

- **La mésosphère** voit sa température décroître selon la verticale. Contrairement à la troposphère, elle ne contient pas de vapeur d'eau et contrairement à la stratosphère, elle ne contient que peu d'ozone. Elle se situe sur Terre à des altitudes entre 50 et 85 km. La mésopause est souvent le point le plus froid de l'atmosphère terrestre, la température peut y atteindre des valeurs aussi basses que 130 K.
- **La thermosphère** s'étend jusqu'à des altitudes très élevées (800 km) et voit sa température contrôlée par l'absorption du rayonnement solaire ultraviolet.

La température dans la thermosphère varie souvent des deux facteurs suivant : l'activité solaire et l'alternance jour-nuit. Les aurores surviennent dans cette couche atmosphérique. Dans l'espace extérieur de la thermosphère, la majorité des particules se présentent sous la forme d'atomes simples, H, He, O etc. A des altitudes plus basses (200-100km) se retrouvent les molécules diatomiques, N_2 , O_2 , NO etc.

- **L'exosphère** est située au-dessus de la thermosphère à partir d'une altitude d'environ 800 km sur Terre. Il s'agit de la zone où l'atmosphère subit un échappement : les molécules peuvent s'échapper vers l'espace sans que des chocs avec d'autres molécules ne les renvoient dans l'atmosphère. L'exosphère constitue la dernière zone de transition entre l'atmosphère et l'espace.

I.2.2. Variation de la température et de la pression atmosphérique

Avec l'altitude, la pression atmosphérique décroît très régulièrement. En revanche, la température décroît, croît puis décroît de nouveau avec l'altitude comme représenté sur la figure I.3 ci-dessous [3].

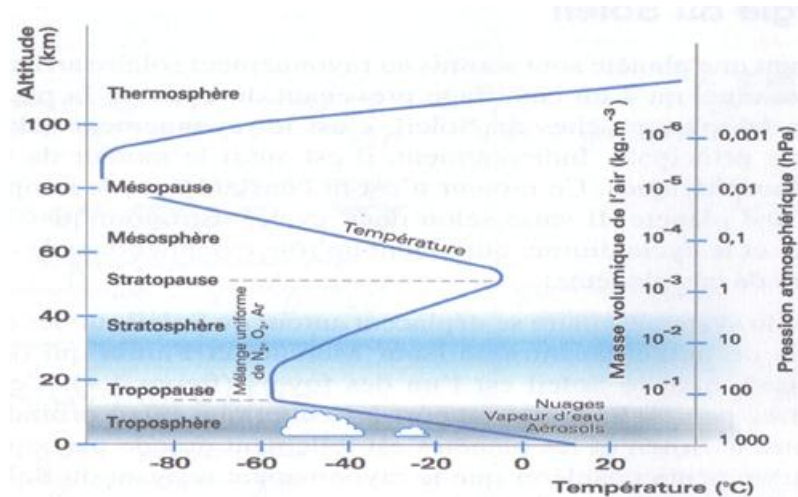


Fig.I.3. Représentation de la variation de la température et de la pression dans les couches atmosphériques.

I.2.3. Composition chimique de l'atmosphère

L'atmosphère est constituée majoritairement d'espèces chimiques à l'état gazeux. Ses constituants peuvent être classés en deux catégories :

- Les constituants dont les proportions restent constantes dans les basses couches de l'atmosphère et forment l'air sec, comme : l'azote (N_2) 78%, l'oxygène (O_2) 21% dominant largement la composition de l'atmosphère terrestre, suivis par les gaz rares en plus faibles concentration Argon (Ar), Néon (Ne), Hélium (He)....
- Les constituants dont la teneur varie, tels que le Dioxyde de carbone (CO_2), l'Oxyde d'Azote (NO_2), l'Ozone (O_3), et la vapeur d'eau (H_2O) : la vapeur d'eau est présente surtout dans la troposphère, avec un maximum près de la surface et dans les tropiques, alors que l'ozone est principalement présent dans la stratosphère. Un certain nombre de gaz traces sont émis régulièrement au niveau de la surface, par des phénomènes naturels ou les activités humaines. Leur répartition dépend alors beaucoup de leur durée de vie dans l'atmosphère. Le tableau I.1 montre la composition chimique de l'atmosphère.

Tableau I.1 : Caractéristiques des principaux constituants chimiques gazeux de l'atmosphère.
(Les gaz à effet de serre sont indiqués en gras) [3].

Constituant	Masse molaire (g/mol)	Rapport de mélange	Sources majoritaires
Azote (N ₂)	28	78%	Biologique
Oxygène (O ₂)	32	21%	Biologique
Argon (Ar)	40	0.93%	Inerte
Vapeur d'eau (H₂O)	18	0-5%	océan
Dioxyde de Carbone (CO₂)	44	380 ppm	Combustion, océan,
Ammoniac NH ₃	17	10 ppt-1 ppb	Biogénique
Dioxyde de soufre SO ₂	46	10 ppt-1 ppb	Photochimique, Volcanique, anthropique
Méthane (CH₄)	16	1.75 ppm	Biogénique et Anthropique
Hydrogène (H ₂)	2	0.5 ppm	Biogénique, Photochimique
Oxyde nitreux (N₂O)	56	0.3 ppm	Biotique et Anthropique
Ozone (O₃)	48	0-0.1 ppm	Photochimique

I.2.4. Le bilan radiatif terrestre

L'énergie disponible à la surface de la Terre provient du soleil et environ un tiers de cette énergie est renvoyée vers l'espace, soit par réflexion, soit par diffusion par les nuages et les particules en suspension dans l'atmosphère. C'est **l'effet parasol**, qui participe au refroidissement (voir la figure. I.4 ci-dessous).

L'énergie restante est absorbée soit par l'atmosphère, soit par la surface de la Terre et transformée en chaleur. La température théorique d'équilibre de la surface de la Terre à partir de la quantité d'énergie reçue du soleil à travers l'atmosphère est -18°C. Or, la température moyenne est d'environ 15°C.

Cette différence provient du fait que le rayonnement infra-rouge terrestre n'est pas entièrement rediffusé vers l'espace. Une grande partie est interceptée par certains gaz de l'atmosphère : les gaz dits à effet de serre (gaz carbonique, vapeur d'eau, méthane, oxyde nitreux, ozone, etc.).

Les molécules de ces gaz absorbent le rayonnement infrarouge terrestre et participent donc au réchauffement de la Terre. C'est **l'effet de serre naturel**, propice au développement de la vie. Ces gaz à effet de serre dit « naturels » sont CO₂, CH₄, N₂O, O₃, vapeur d'eau.

Les aérosols biotiques ainsi que les nuages, qui ont une grande opacité au rayonnement infrarouge thermique, participent également à cet effet de serre naturel [4].

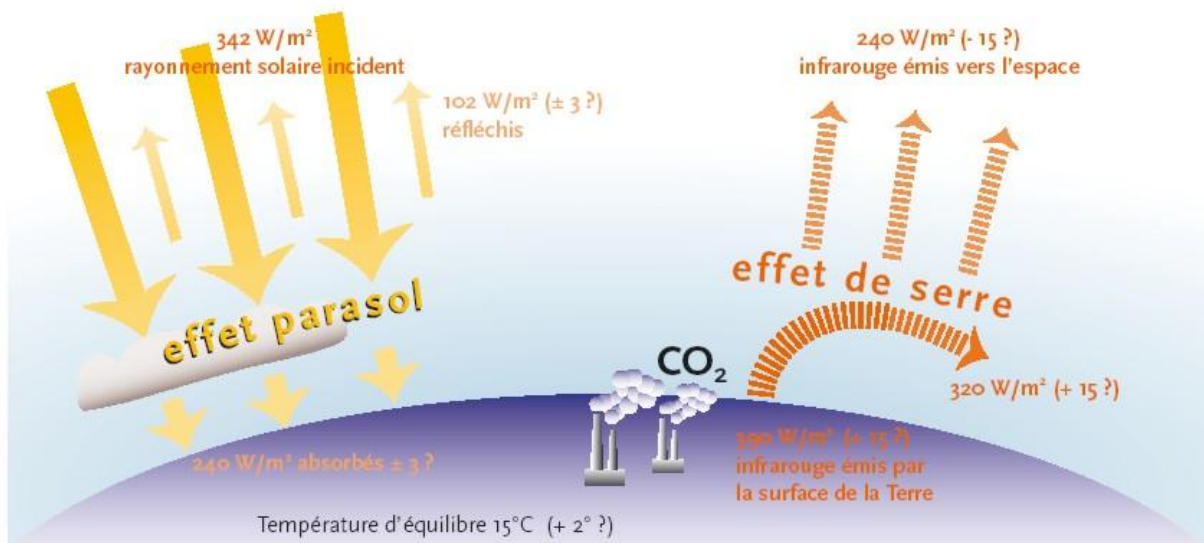


Fig. I.4. Transformations de l'énergie solaire incidente et différents processus du bilan radiatif terrestre.

I.3. La pollution atmosphérique

I.3.1. Définition

La pollution atmosphérique est une altération de la qualité de l'air pouvant être caractérisée par des mesures de polluants chimiques, biologiques ou physiques.

Elle peut être d'origine naturelle ou introduire par l'homme, directement ou indirectement dans l'atmosphère et les espaces clos.

Elle peut avoir des risques pour la santé, les écosystèmes, d'influer sur le climat, de détériorer les biens matériels, de provoquer des nuisances olfactives.

Une certaine confusion existe parfois dans l'utilisation de ce terme. Celui-ci recouvre en réalité plusieurs phénomènes, pilotés par des processus bien distincts, parfois couplés :

- L'effet de serre additionnel provoqué par les gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone (CO_2) ou le méthane (CH_4) et ses conséquences sur le climat.
- La destruction de l'ozone stratosphérique notamment aux pôles par des composés comme les chlorofluorocarbures (CFC).
- La qualité de l'air avec les problématiques de pollution photochimique (ozone (O_3), oxydes d'azote (NO_x) et composée organique volatile (COV) ou particulaire), de pluies acides liées au dioxyde de soufre (SO_2) et aux aérosols (sulfates), plus généralement de pollution transfrontière (multi polluants).

- Les impacts de rejets accidentels (chimiques, biologiques ou nucléaires dans l'atmosphère) [5].

On classe habituellement les polluants en deux catégories:

- ❖ **Les polluants primaires** : ils sont émis directement dans l'atmosphère. Tels que les aérosols (PM, pour la terminologie anglaise 'particulate matter'), les composés organiques volatils (COV), le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO), et les métaux.
- ❖ **Les polluants secondaires** : ils ne sont pas relâchés directement dans l'atmosphère, mais sont produits par des réactions chimiques ou photochimiques des polluants primaires (réactions produites par la lumière du Soleil).

I.3.2. Les polluants gazeux

a) L'ozone (O₃)

C'est un gaz à effet de serre et un polluant majeur qui est issu de réactions chimiques, sous l'effet du soleil et se développe plus facilement en temps de chaleur, impliquant plusieurs polluants émis dans l'air, comme les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COVs).

b) Le monoxyde de carbone (CO)

C'est un gaz dangereux. Il est formé par la combustion incomplète du carbone et provient essentiellement des moteurs des véhicules et des installations de combustions mal réglées ou mal entretenues. Il empêche le transport de l'oxygène dans l'organisme en se fixant aux hémoglobines et conduit souvent à des intoxications.

c) Le dioxyde de soufre (SO₂)

Le dioxyde de soufre (SO₂) a pour origine principale la combustion des énergies fossiles (fioul, charbon) qui libère du soufre. Les principales sources de SO₂ sont donc les installations de chauffages industrielles, les raffineries de pétrole ainsi que certains procédés de fabrication et sous l'action du rayonnement solaire, il peut s'oxyder puis, en présence d'eau se transformer en acide sulfurique (H₂SO₄) (phénomène des pluies acides).

I.3.3. Les polluants particuliers

a) Les métaux lourds

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou

d'éléments traces métalliques. On considère en général les métaux lourds suivants : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn).

b) Les particules en suspension (les aérosols)

Représente l'axe de notre étude, ce sont les poussières (érosion, volcanisme), le pollen, etc.

I.4. Principales sources de pollution atmosphérique

Les particules atmosphériques, et la matière organique dont elles sont en partie constituées, peuvent être d'origine naturelle ou anthropique (figure. I.5).

I.4.1. Les sources naturelles

Les particules d'origine naturelle sont quant à elles formées principalement :

- ❖ Par action mécanique (eau, gel, vent sur les roches, les sols ou les sables);
- ❖ Par évaporation de particules liquides (ex : formation des sels marins);
- ❖ Lors du processus de combustion (feux de biomasse, éruptions volcaniques);
- ❖ Lors du processus biologiques conduisant à l'émission de pollens, virus, débris végétaux;
- ❖ Par oxydation de composés émis en phase gazeuse et nucléation ou adsorption sur des particules préexistantes [6].

I.4.2. Sources anthropiques

L'industrie est un secteur à l'origine d'une grande partie des émissions atmosphériques.

- **Transports**

Que le mode de transport soit aérien, maritime ou automobile, est le principal responsable de la dégradation de la qualité de l'air. Il est à l'origine de 91% des émissions de monoxyde de carbone (CO), de 89% des émissions d'hydrocarbures (HAPs), de 57% des émissions d'oxydes d'azote (NO_x), de 44% des émissions de composés organiques volatils (COVs) et de 19% de celles de dioxyde de carbone (CO₂). Certains de ces polluants sont notamment à la base des pics d'ozone troposphérique (NO_x et COVs) et du renforcement de l'effet de serre (CO₂).

- **Activités domestiques**

En utilisant des produits phytosanitaires, des peintures, des produits ménagers, en cuisinant... nous émettons tous des polluants atmosphériques.

- **Agriculture**

Le secteur agricole est responsable d'une partie de la pollution atmosphérique, par l'utilisation de machines notamment, mais aussi à cause du recours aux produits phytosanitaires ou aux épandages. Exemples de polluants émis : poussières, ammoniac (NH_3).

- **Chauffage individuel et collectif**

Ce secteur est à l'origine d'une grande partie des émissions dans les régions tempérées.

Les polluants concernés sont généralement le dioxyde de soufre (SO_2), le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x) ou encore les particules fines.

- **Incinérations d'ordures ménagères :**

Toute combustion génère des émissions, le brûlage des déchets est à l'origine des pollutions. Exemples de polluants émis : métaux, acide chlorhydrique (HCl), dioxines.

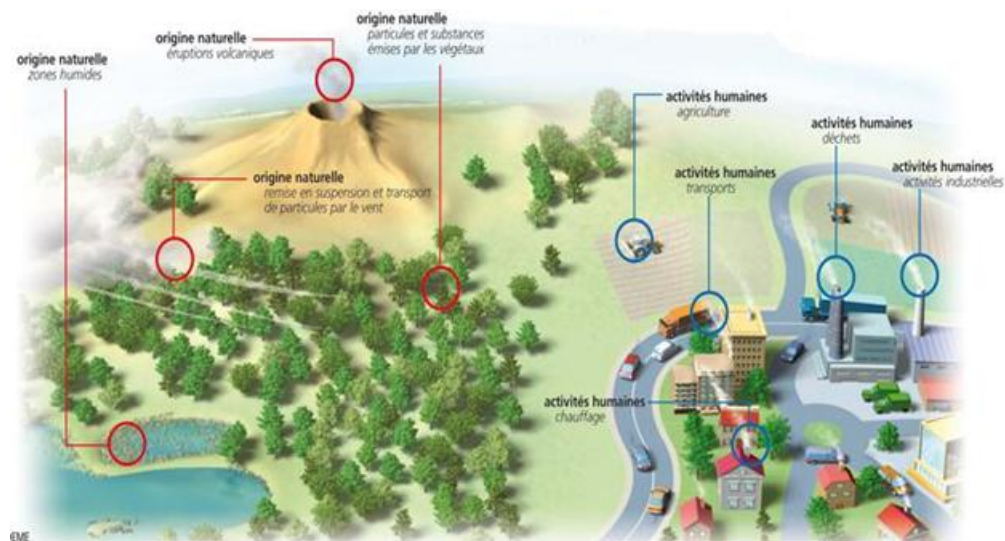


Fig. I.5. Les différentes sources d'émissions.

I.5. Les grands problèmes de la pollution atmosphérique

I.5.1. Ozone

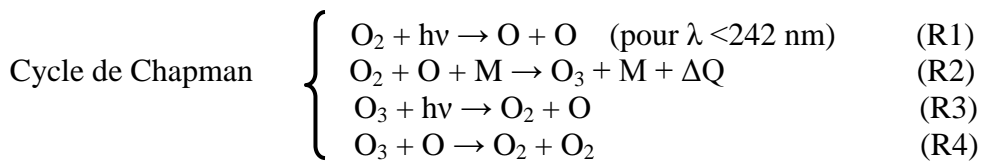
L'ozone est un constituant minoritaire de l'atmosphère, sa particularité réside dans sa distribution verticale différente de celle de la majorité des autres composés chimiques.

En effet, le profil vertical de concentration d'ozone présente des valeurs faibles dans la troposphère. La couche d'ozone se situe dans la stratosphère, elle rassemble environ 90% de la quantité totale d'ozone contenue dans l'atmosphère [7].

a) Ozone stratosphérique

L'ozone stratosphérique est produit par l'action du rayonnement solaire (UV) sur les molécules de dioxygène (O_2) à haute altitude (entre 20 et 50 km d'altitude). La couche d'ozone assure un filtrage du rayonnement UV et constitue ainsi un écran protecteur essentiel contre ces rayons particulièrement nocif pour les organismes vivants.

Le mécanisme photochimique de l'ozone stratosphérique dans une atmosphère où seule la famille d'oxygène (O_x) est considérée est défini par le cycle de Chapman. L'ozone est produit par la photodissociation de l'oxygène moléculaire (R1) suivie de la recombinaison de ce dernier avec un atome d'oxygène (R2) avec un dégagement de chaleur (ΔQ) (qui correspond à l'énergie de la liaison O- O_2 dans la molécule O_3). L'ozone est ensuite photo dissocié (R3) ou réagit avec un atome d'oxygène (R4) pour former une ou deux molécules d'oxygène.



La quantité d'ozone dans la stratosphère résulte donc d'un équilibre entre la formation et la destruction naturelles.



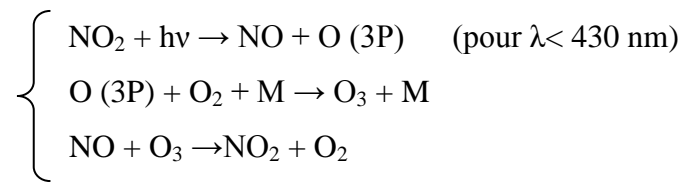
b) Ozone troposphérique

Tandis que l'ozone stratosphérique est d'une importance fondamentale au maintien de la vie à la surface de la Terre, l'ozone troposphérique est néfaste en raison de ses fortes propriétés oxydantes.

Dans la troposphère, l'ozone est un polluant secondaire se forme photochimiquement suite à la présence de ses précurseurs que sont les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (COVs) et le monoxyde de carbone (CO).

La photodissociation du dioxyde d'azote aux longueurs d'ondes inférieures à 430 nm produit un atome d'oxygène, qui se combine ainsi à l'oxygène moléculaire pour former de l'ozone.

Finalement, l'ozone formé va très vite réagir avec NO pour reformer du dioxyde d'azote.



I.5.2. La destruction de la couche d'ozone

La destruction de la couche d'ozone se produit quand l'équilibre naturel entre la production et la destruction de l'ozone stratosphérique est incliné en faveur de la destruction.

Bien que les phénomènes naturels puissent causer la perte provisoire de l'ozone, les halogènes, principalement du Chlore (Cl) et/ou du Brome (Br), catalyseurs puissants libérés des composés synthétiques tels que les CFCs. En effet, ces molécules, de durée de vie très longue (525 ans pour le CFC 115), s'élèvent lentement jusqu'à la stratosphère où elles sont détruites par les ultraviolets en libérant du chlore.

Ce dernier provoque alors la destruction catalytique de l'ozone en présence d'ultraviolets. De par leurs propriétés (grande stabilité, ininflammabilité et capacité d'absorber beaucoup de chaleur), ils présentent de nombreuses applications, notamment comme fluides frigorigènes dans les systèmes de refroidissement et de conditionnement d'air (réfrigérateurs, congélateurs, climatiseurs...).

Les autres substances responsables de la réduction de la couche d'ozone sont le tétrachlorure de carbone (CCl_4), le méthyle chloroforme (ClCH_3), les halons (produits extincteurs), le bromure de méthyle (BrCH_3), les HCFC (potentiels d'amoinissement de la couche très inférieur aux CFC).

I.5.3. L'effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel lié à l'absorption des rayonnements Infra-rouge (IR) de grandes longueurs d'onde, renvoyé par la surface terrestre, par des composés présents dans l'atmosphère. L'atmosphère n'absorbe directement qu'une faible partie du rayonnement solaire. Une autre partie est diffusée par les nuages et le reste est absorbé par le sol. Le groupe de gaz responsables de ce phénomène est présent dans l'atmosphère à l'état de traces ; il s'agit, pour l'essentiel, de la vapeur d'eau (H_2O), du gaz carbonique (CO_2), du méthane (CH_4) et du protoxyde d'azote (N_2O). C'est parce que les teneurs atmosphériques de ces gaz sont naturellement très faibles que les émissions dues aux activités humaines sont en mesure de les modifier sensiblement, entraînant, a priori, un renforcement de l'effet de serre, et par suite,

des modifications possibles du climat. Bien que la vapeur d'eau constitue le plus important gaz à effet de serre, les activités humaines n'influent pas de façon sensible sur sa concentration atmosphérique, qui est naturellement très variable [8].

En revanche, des études ont montré que les concentrations en CO₂, CH₄, et N₂O ont augmenté fortement par rapport à leurs niveaux de l'ère préindustrielle.

L'homme, par ailleurs, a introduit de nouveaux gaz à effet de serre très puissants dans l'atmosphère : les chlorofluorocarbones (CFC) également responsables de la destruction de la couche d'ozone.

Enfin, on sait désormais que l'ozone troposphérique, formé à partir des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et de Composés Organiques Volatils (COVs) joue également un rôle important.

Les principales substances émises considérées pour leur impact sur l'effet de serre sont donc (tableau I.2) :

- CO₂: est responsable de 63 % du réchauffement de la planète causé par l'homme. Sa concentration dans l'atmosphère est actuellement supérieure de 40 % à celle du début de l'industrialisation.
- CH₄: est responsable de 19 % du réchauffement de la planète causé par l'homme.
- N₂O: est responsable de 6 % du réchauffement de la planète.
- CFC (maintenant bannis), HFC, PFC, SF₆.

Tableau. I.2 : Les sources des gaz à effet de serre

Gaz à effet de serre	Source naturelle	Source humaine
La vapeur d'eau (H ₂ O)	Evaporation de l'eau surtout au-dessus des océans	Centrales électriques – Irrigation
Le dioxyde de carbone (CO ₂)	Respiration des êtres vivants – Feux de forêt - Volcans...	Utilisation massive d'énergies fossiles pour les transports, les bâtiments et l'agriculture, Déforestation
Le méthane (CH ₄)	Digestion des herbivores – Décomposition des végétaux- Volcans	Intensification des élevages (bovin) et des cultures (riz) - Décharge d'ordures
Le protoxyde d'azote (N ₂ O)	Marécages	Utilisation d'engrais azotés
Ozone de basse atmosphère (O ₃)	Foudre	Industrie - Circulation automobile
Les gaz fluorés (CFC, HFC, PFC)	N'existent pas dans la nature	Gaz des bombes aérosols et des climatiseurs

I.5.4. Les pluies acides

Les pluies acides sont un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide, Comportent les dépôts humides (pluies, neige, etc.) ainsi que les dépôts secs (sous forme de solides ou de gaz absorbés ou adsorbés par la végétation, le sol, etc.) (figure.I.6).

L'eau neutre (pH=7) en contact dans l'atmosphère avec le CO_2 produit une pluie faiblement acide dont le pH est d'environ 5,7. Ainsi, l'eau de pluie dans une région où la pollution est négligeable aurait un pH de 5,7.

Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote sont les principales causes des pluies Acides. Les précipitations deviennent acides quand des polluants, comme le dioxyde de soufre (SO_2) et les oxydes d'azote (NO_x) surtout, sont oxydés puis transformés en acide sulfurique (H_2SO_4) et acide nitrique (HNO_3); ce qui libère des ions hydrogène en solution et cause l'acidité.

D'autres polluants peuvent contribuer aux pluies acides, notamment l'acide chlorhydrique (HCl) émis par incinération de certains déchets plastiques, ou l'ammoniac (NH_3) émis par les activités agricoles.

Ces précipitations acides peuvent se produire aussi bien près que loin des lieux d'origine des sources de pollution. Ceci met bien en évidence l'importance des phénomènes suivants: transport de certains polluants (SO_2 , NO_x , O_3 , etc.) sur de longues distances (quelques centaines, voire quelques milliers de kilomètres) accompagné de la transformation de certains d'entre eux dans l'atmosphère, notamment en dérivés acides (H_2SO_4 , HNO_3 , etc.); d'où le problème de la pollution transfrontière [9].

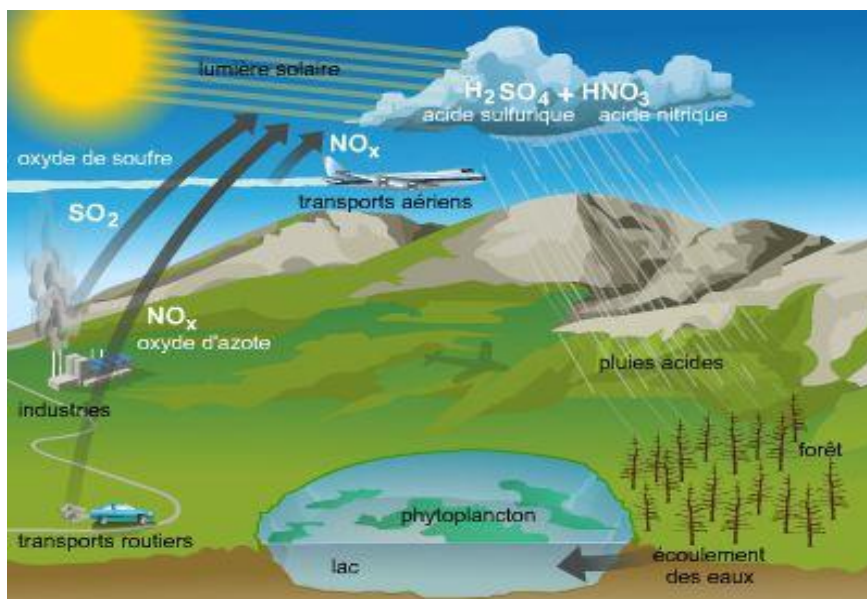


Fig. I.6. La formation des pluies acides.

I.6. Les aérosols

La définition du terme aérosol est différente selon les auteurs. Certains définissent par exemple, un aérosol comme des particules solides ou liquides ou bien d'un ensemble liquide-solide en suspension dans l'air, à l'exception de tous les hydrométéores (gouttelettes d'eau nuageuse, cristaux de glace dans les nuages, gouttes de pluie, grêlons et flocons de neige) présentant une vitesse de chute négligeable dans l'air ($< 0,25$ m/s). Celles qui sont dignes d'intérêt en chimie et en physique de l'atmosphère ont un diamètre compris entre $0,002$ et environ $10 \mu\text{m}$ [10].

Les aérosols atmosphériques jouent un rôle important dans la modification des conditions de vie sur la Terre. Ils contribuent à l'évolution du climat en intervenant sur le bilan radiatif terrestre [11].

Les quantités et les propriétés des aérosols sont extrêmement variables dans l'espace et dans le temps. C'est pourquoi on s'intéresse généralement dans la nature à une population d'aérosols.

Les caractéristiques les plus importantes d'une population d'aérosols sont sa distribution en taille, la composition chimique des particules qui la composent et la forme des particules. Il est utile de classer les aérosols en différentes catégories en fonction de leurs propriétés (figure. I.7).

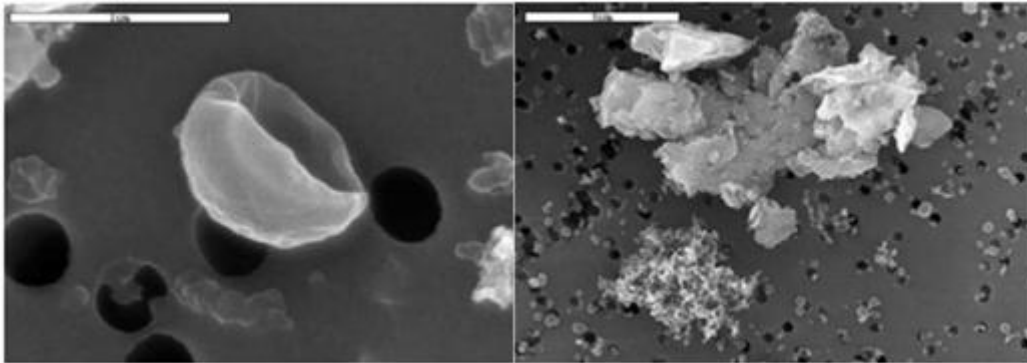


Fig. I.7. Photographies d'aérosols atmosphériques réalisés au microscope électronique : débris végétal (à gauche) et particule de suie à côté d'un agrégat minéral (à droite).

Lisa/CNRS.

I.6.1. La Composition chimique des aérosols

L'aérosol est constitué de deux fractions majeures [12] :

- **La fraction inorganique :**
 - a) Fraction minérale soluble dans l'eau.
 - b) Fraction minérale insoluble dans l'eau.
- **La fraction carbonée (TC) :**
 - a) Carbone élémentaire (EC).
 - b) Carbone organique (OC).

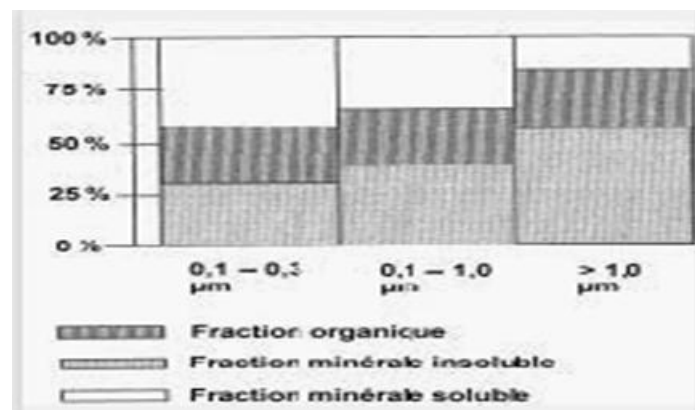


Fig. I.8. Proportions relatives des fractions inorganiques solubles et insolubles et organiques, en fonction de la taille de la particule.

La répartition des fractions diffère de façon importante suivant la taille des particules. Ainsi la fraction insoluble augmente régulièrement quand la taille augmente. La fraction soluble dans l'eau diminue quand la taille augmente. L'importance relative des fractions carbonées et organiques varie beaucoup mais la somme de ces deux fractions reste approximativement constante (figure. I.8).

I.6.1.1. La fraction inorganique

a) La fraction minérale soluble dans l'eau

Les anions les plus abondants sont les sulfates (SO_4^{2-}), les nitrates (NO_3^-) et les chlorures (Cl^-). On trouve aussi des bromures (Br^-). Les cations les plus abondants sont l'ammonium (NH_4^+), les ions alcalins (sodium (Na^+) principalement) et les alcalino-terreux (calcium (Ca^{2+}) notamment). Ces ions proviennent surtout de la source marine. Le plus souvent ces composés très solubles dans l'eau (cas du sulfate) favorisent la captation de l'eau atmosphérique donc la formation des nuages.

b) La fraction minérale insoluble dans l'eau

On trouve aussi des éléments insolubles ou moins solubles tels que les aluminosilicates, le manganèse (Mn) et les métaux de transition tels que le fer (Fe), provenant principalement de la source terrigène, mais aussi des industries métallurgiques. Certains éléments comme les métaux lourds ou les métaux de transition sont en traces. C'est le cas du vanadium (V) qui provient du fuel, du chrome (Cr) ou du cobalt (Co) qui proviennent de certaines industries, du zinc (Zn) ou de l'étain (Sn) qui proviennent des incinérateurs de déchets et enfin du plomb (Pb) qui provient de l'essence (même si ce métal est de moins en moins utilisé).

I.6.1.2. La fraction carbonée (TC)

L'aérosol carboné est défini comme étant l'ensemble des particules contenant une forte proportion de carbone dans leur composition chimique. Ces particules sont essentiellement issues des processus de combustion, d'origine naturelle ou anthropique. La production de ces particules représente chaque année entre 12 et 24 millions de tonnes [13,14]. Elles ont généralement des diamètres inférieurs à 1 µm.

Plusieurs sortes d'aérosols carbonés sont présentes dans l'atmosphère : le carbone élémentaire et le carbone organique.

a) Le carbone élémentaire (EC)

Le Carbone Élémentaire (EC), appelé carbone réfractaire en raison de sa résistance aux hautes températures, est quasi-exclusivement constitué d'atomes de carbone non fonctionnalisés et hautement polymérisés. Sa structure s'apparente à du graphite impur. Il est émis directement dans l'atmosphère.

Il provient lors de processus des combustions incomplètes (combustion fossile et combustion de la biomasse) et des débris de matériaux carbonés relargués par les activités humaines, comme les fragments de pneus.

b) Le carbone organique (OC)

Le Carbone Organique (OC) peut être défini comme la fraction de l'aérosol regroupant tous les composés organiques fonctionnalisés. Il peut être émis directement dans l'atmosphère (OC primaire), mais peut aussi se former in situ par nucléation ou condensation des produits de dégradation photochimique des composés organiques volatils (OC secondaire) [15].

Le carbone organique est ainsi constitué d'une multitude de composés organiques différents : Les hydrocarbures aliphatiques (alcanes, alcènes, cyclo alcanes et cyclo alcènes.), Les esters, Les dérivés des hydrocarbures aromatiques monocycliques, Les hétérocycles et les terpènes, Les alcools, Les cétones, Les éthers et Les acides (mono ou di carboxyliques), Les composés présentant des hétéroatomes (chlore, azote, phosphore, soufre), Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) auxquels on rattache les PCB.

I.6.2. Les origines des aérosols

Les aérosols atmosphériques sont souvent judicieusement classés suivant leur mode de formation. Ainsi, deux catégories d'aérosols peuvent être définies :

I.6.2.1. Les aérosols d'origine primaire

Sont émis et introduits directement dans l'atmosphère sous forme solide ou liquide. Il est constitué essentiellement de particules carbonées, non fonctionnalisées, comme les débris de pneus ou de charbon et de particules métalliques comportant du plomb (Pb), du zinc (Zn), du fer (Fe), du cuivre (Cu), du vanadium (V)...

I.6.2.2. Les aérosols d'origine secondaire

Sont formés in situ dans l'atmosphère par la condensation de substances gazeuses dont la pression de vapeur saturante est suffisamment basse pour que le composé soit également présent sous forme condensée. On parle alors de processus de conversion gaz-particules.

Le partage des espèces semi-volatiles entre les phases gazeuse et particulaire ainsi que les paramètres physico-chimiques qui régissent ces équilibres (température, humidité, pression...) sont des paramètres primordiaux dans la formation des aérosols d'origine secondaire.

I.6.3. Les sources des aérosols

Les sources des aérosols atmosphériques sont aussi nombreuses que variées et peuvent être classées suivant leur caractère naturel ou anthropique :

I.6.3.1. Sources naturels

a) L'aérosol marin

Les particules de sels de mer sont émises par l'écume des vagues par action éolienne et par l'éclatement de bulles d'air contenues dans l'écume à la surface de l'eau. Ces particules sont appelées embruns marins.

Au niveau global ce type d'aérosol domine largement. Il est la source principale d'aérosols naturels et l'origine de la formation des pluies sur les océans. La composition chimique de cet aérosol est donc proche de celle de l'eau de mer. Il est ainsi composé essentiellement de chlorure (Cl^-) et de sodium (Na^+), mais aussi de grandes quantités de nitrates (NO_3^-) et de sulfates (SO_4^{2-}).

Cependant, des précurseurs gazeux tels que le sulfure de diméthyle (CH_3SCH_3 ou DMS) sont également émis en forte quantité par le phytoplancton, puis oxydés dans l'atmosphère en différents composés soufrés. Parmi ces composés, l'acide sulfurique (H_2SO_4) a la capacité de former de nouvelles particules dites « secondaires » qui ont un impact important sur l'atmosphère et le climat [16].



Fig. I.9. Sources d'aérosols marins.

b) l'aérosol sulfate

Il est majoritairement issu de l'oxydation en phase gazeuse ou en phase aqueuse du dioxyde de soufre (SO_2) par l'ozone et par le peroxyde d'hydrogène (OH). Il est particulièrement hydrophile et est donc un "bon" noyau de condensation. Il est lessivé par les précipitations qu'il acidifie en formant de l'acide sulfurique. L'aérosol sulfate a une taille proche de $1 \mu\text{m}$, ce qui facilite la rétrodiffusion du rayonnement solaire. Il a donc un effet direct et indirect sur le bilan radiatif et contribue au refroidissement du climat.

Le DMS produit par le phytoplancton marin est le soufre dominant espèce dans les eaux de surface de l'océan et est transporté vers l'atmosphère par le flux mer-air. Après émission dans l'atmosphère, le DMS est oxydé par les radicaux hydroxyles (OH), nitrate (NO_3) et oxyde de brome (BrO) pour former soit de l'acide méthane sulfonique gazeux ($\text{MSA}_{(g)}$) ou le dioxyde

de soufre (SO_2). Alors que $\text{MSA}_{(g)}$ se condense rapidement sur des particules existantes (formant des particules MSA , $\text{MSA}_{(p)}$), Le SO_2 est ensuite oxydé en SO_4^{2-} . La conversion de DMS dans SO_4^{2-} aérosols est un processus essentiel en raison de l'interaction potentielle des aérosols de soufre avec le rayonnement solaire entrant et leur rôle dans la microphysique des nuages, ce qui pourrait conduire à un mécanisme de réaction climatique défavorable.

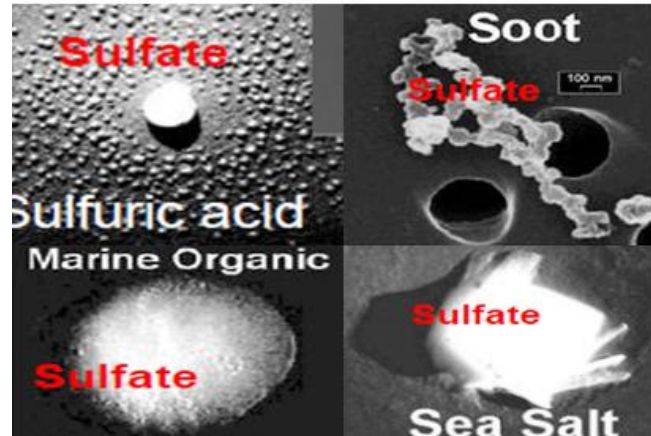


Fig. I.10. Différents forme d'aérosol sulfate.

c) L'aérosol continental

Il est principalement constitué d'ions (sulfate, nitrate, calcium), des composés organiques et de particules terrigènes insolubles. La composition minéralogique des particules terrigènes varie d'une région à l'autre. Elles peuvent être transportées sur de très longues distances. La principale source mondiale de poussières minérales atmosphériques est le désert du Sahara (Dust).

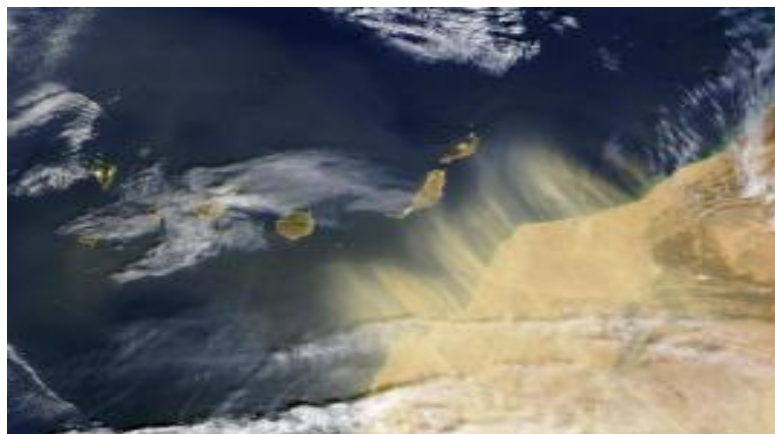


Fig.I.11.Source d'aérosol continental.

d) L'aérosol biogénique

Les aérosols biogéniques, émis par la biosphère, peuvent être des pollens, des moisissures, des bactéries, des virus, des débris de végétaux. Les composés organiques volatils (COV_s) émis par la biosphère telle que l'isoprène, les mono-terpènes sont des précurseurs importants d'aérosols organiques secondaires (AOS). On trouve aussi des cires vasculaires (esters) à haut poids moléculaire.

Il est estimé que l'oxydation des composés organiques volatils d'origine biogénique (COVBs) représente la plus importante source mondiale de l'aérosol organique secondaire (AOS), comprise entre 12 et 70 Tg.an⁻¹. Cet aérosol est donc quasi exclusivement organique, même si on trouve aussi du potassium (K).

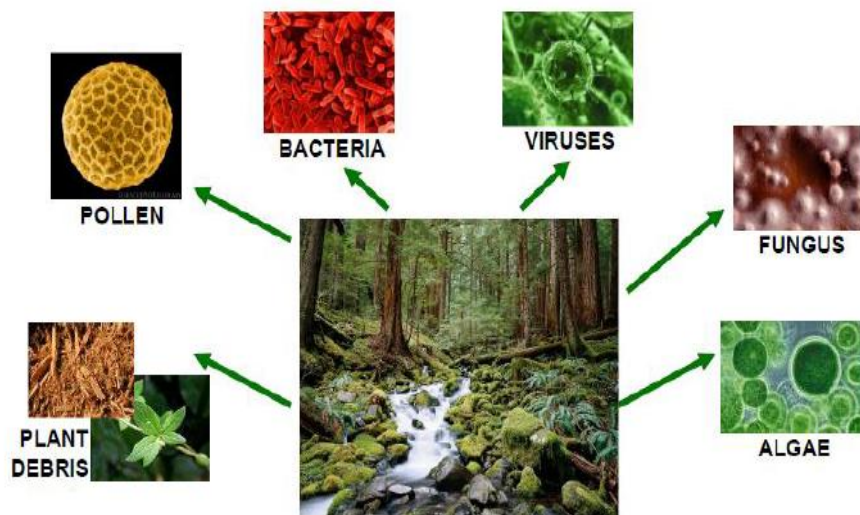


Fig. I.12. Divers sources d'aérosols biogéniques.

I.6.3.2. Sources anthropiques

Les sources d'aérosols anthropiques sont très variées. Les principales activités impliquées sont (figure I.13) :

Le trafic automobile, maritime et aérien, les activités industrielles, la combustion de charbon, la combustion de biomasse pour le chauffage, les feux de forêts, l'agriculture, l'incinération de déchets ...

Ces particules d'origine anthropique sont essentiellement carbonées et fines, mais certaines émises, par exemple, par l'abrasion des pneus ou par certaines industries (cimenteries,...) peuvent être plus grossières.

I.6.3.2.1. L'aérosol issu de processus de combustion

Les activités de combustion émettent la grande majorité des aérosols carbonés. Les processus conduisant à la formation, par combustion, d'aérosols carbonés sont complexes et encore incomplètement élucidés.

Les combustions de fuels fossiles constituent environ 50% des émissions d'aérosols carbonés, le reste provenant essentiellement des feux de biomasse.

a) La combustion de biomasse

Les émissions par les feux de biomasse proviennent des activités humaines associées [17,18]:

- ✓ Au défrichage du forêt,
- ✓ Au brulage de la végétation (forêts, savanes) dans le but de stimuler la régénération des herbages pour le bétail ou par tradition (écobuage),
- ✓ A l'élimination des résidus agricoles.

b) La combustion de fuels fossiles

C'est la deuxième grande source de production d'aérosols organiques, bien que les principaux fuels fossiles soient employés partout et à toutes époques, l'exploitation industrielle privilégie les fuels de manière excessive, en développant progressivement un certain nombre de technologies de combustion.

Schématiquement, l'ère du charbon a débuté au début de la révolution industrielle, l'ère du pétrole après la seconde guerre mondiale dans les pays industrialisés et aujourd'hui l'ère des bio-fuels débute dans les pays industrialisés, le bois étant toujours une alternative aux produits dérivés du pétrole. Les principales activités émettrices sont :

- ✓ Le trafic routier,
- ✓ les industries manufacturières, les industries de conversion d'énergie et les centrales de production d'énergie,
- ✓ les combustions domestiques (besoins de chauffage et de cuisine).

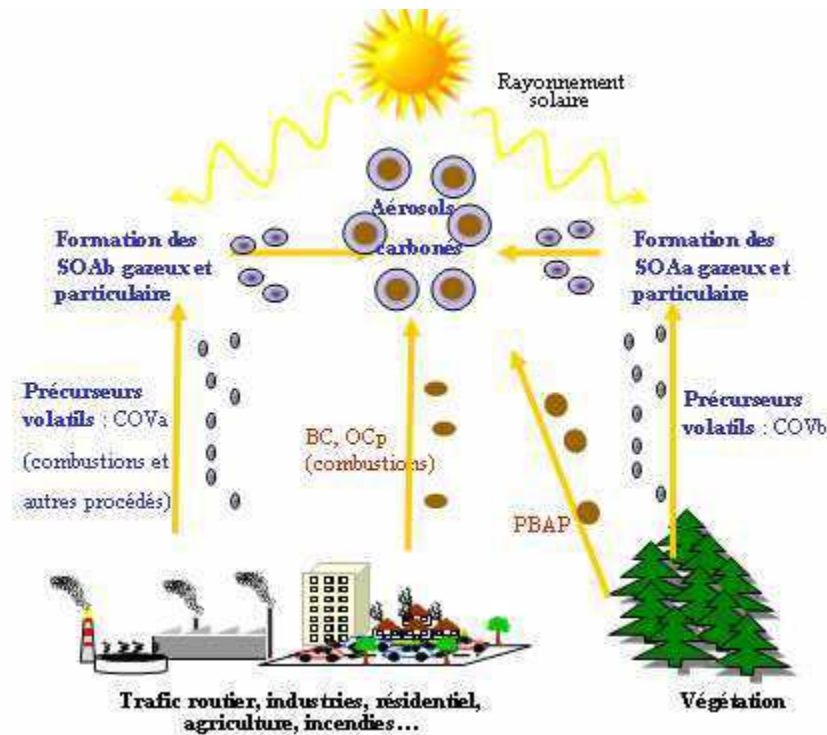


Fig. I.13. Sources anthropiques d'aérosols.

I.6.4. Structure de l'aérosol

La figure I.14 montre la structure d'un aérosol de pollution. Notons que cette approche reste partiellement spéculative, en raison de l'absence de preuves définitives.

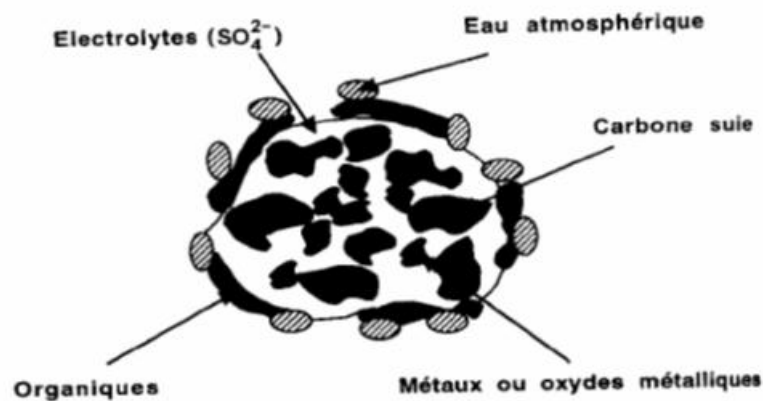


Fig. I.14. Structure de l'aérosol.

L'aérosol semble donc être constitué :

- D'un cœur formé de carbone suie (carbone amorphe) et de métaux (ou oxydes métalliques). La couleur noire domine.
- D'une couverture épaisse d'électrolytes hydrosolubles tels que les sulfates.

- De composés organiques déposés sur cette couche d'électrolytes et qui proviennent des gaz adsorbés (COVs) ayant ou non réagi photo-chimiquement. A l'heure actuelle on ne connaît pas l'épaisseur de cette couche et on ne sait pas si celle-ci est continue ou non. D'eau à l'extérieur de la particule ayant partiellement solubilisé l'électrolyte. Elle est attachée aux composés organiques par les fonctions hydrophiles de ces derniers.

I.6.5. Modes de formation des aérosols

Les particules sont produites par différents processus, lesquels influencent leur taille. Il se distingue 3 modes sur la figure I.15 pour la distribution en taille des aérosols.

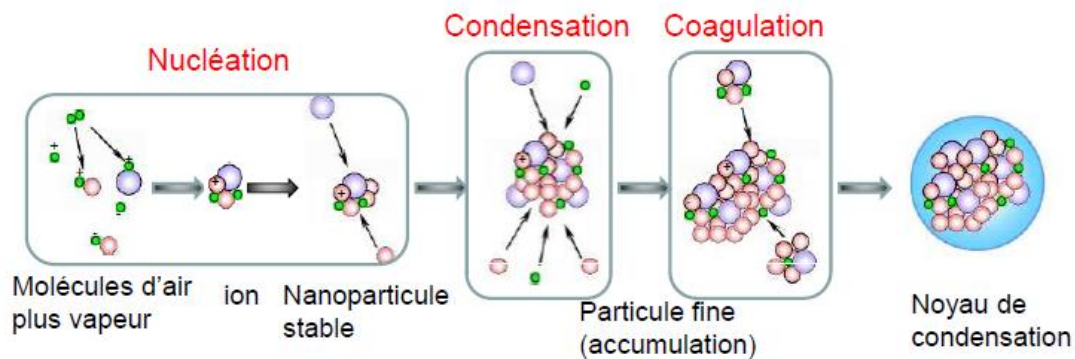


Fig. I.15. Processus de formation et d'évolution des aérosols dans l'atmosphère.

- ✓ Le mode de nucléation ou d'Aitken : Les particules qui le composent est de diamètre inférieur à $0,1\mu\text{m}$. elles sont formées par conversion des gaz en particules soit à température ambiante soit pendant le refroidissement des gaz produits lors des combustions.
- ✓ Le mode d'accumulation (diamètre compris entre $0,1$ et $2\mu\text{m}$) : les particules du mode d'accumulation sont formées par coagulation (particules du mode de nucléation entre elles ou entre particules du mode des nucléations et du mode d'accumulation) et par nucléation hétérogène c'est-à-dire condensation de gaz sur des particules préexistantes.
- ✓ Mode de grossissement : dans ce dernier processus, généralement leurs diamètre est supérieure à $2\mu\text{m}$ et sont souvent libérées par des procédés mécaniques, tel que le broyage, le concassage et l'érosion. Ces particules ont généralement une durée de vie plus faible, notamment en raison de leur masse plus importante.

I.7. Changement climatique

Les conditions atmosphériques changent en permanence. Il est utile de commencer par rappeler la distinction entre météorologie et climatologie. La météorologie est la discipline ayant pour objet l'étude des phénomènes atmosphériques et de leurs variations à court terme. La climatologie est la discipline ayant pour objet l'étude des conditions atmosphériques moyennes d'un pays, d'une région, d'une planète, et de leurs variations à moyen ou long terme. Le climat est un ensemble des conditions atmosphériques et météorologiques d'un pays, d'une région [19,20]. Le climat peut également être défini comme un système thermo-hydrodynamique non isolé dont les composantes sont les principales « enveloppes » externes de la Terre : on parle également de système climatique.

- ✓ L'atmosphère : l'air, les nuages, les aérosols, ...
- ✓ L'hydrosphère : les océans, les rivières, les précipitations, ...
- ✓ La lithosphère : les terres immergées, les sols, ...
- ✓ La cryosphère : glace, neige, banquise, glaciers, ...
- ✓ La biosphère : les organismes vivants, ...
- ✓ L'anthroposphère : l'activité humaine, ...

Le climat d'une région donnée est notamment influencé par :

- ✓ La présence ou non de relief ;
- ✓ La proximité des océans, qui est à l'origine des brises de mer et des brises de terre ;
- ✓ La présence ou non d'humidité ;
- ✓ Le rayonnement solaire donc les coordonnées géographiques de la zone considérée.

On parle de changement climatique lorsque le climat global de la terre où l'ensemble des climats régionaux subissent une modification durable (au minimum sur une durée de dix ans). Un climat étant défini par de nombreuses variables, un changement climatique ne peut pas être réduit a priori à un simple changement de la température moyenne (figure. I.16). Il comprendra très probablement aussi une modification de la valeur moyenne ou de la variabilité des précipitations, des vents, de l'humidité du sol.

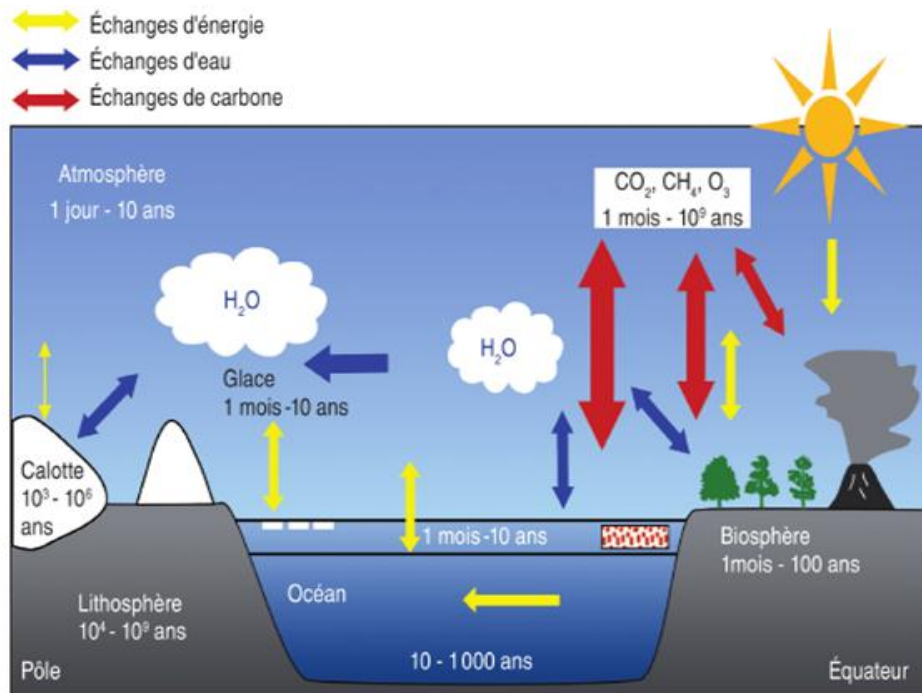


Fig. I.16. Schéma du système climatique présentant les différentes composantes du système.

I.7.1. Les causes possibles d'un changement climatique

- 1) La première cause: l'augmentation de gaz à effet de serre (H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O) dont l'action sur la température de l'atmosphère et de la surface est primordiale.
- 2) La deuxième cause : l'injection d'une large quantité de poussière et de gaz dans l'atmosphère à partir de plusieurs sources qui peuvent conduire à la formation d'aérosols, dont l'effet est notamment de réduire la quantité de rayonnement incident. Ceci peut provoquer un refroidissement, typiquement de l'ordre de 0.5°C en moyenne globale, sur une période d'environ deux ans suivant une éruption majeure.
- 3) La troisième cause : réside dans les variations dans l'intensité du rayonnement solaire reçu par la Terre.
- 4) La quatrième cause : tient au fait que, même sans changement de facteur extérieur au système climatique, des variations du climat peuvent apparaître en raison de facteurs et couplages internes, en particulier les interactions entre l'atmosphère et l'océan. La bonne prise en compte de cette variabilité interne ne doit d'ailleurs pas être négligée, avec une sous-estimation particulière du changement climatique induit par les changements tropicaux.

I.7.2. L'impact des aérosols sur le changement climatique

Les aérosols affectent de façon significative le bilan radiatif terrestre par deux types effets :

- ✓ direct : c'est-à-dire par modification de l'albédo planétaire sous l'action de la diffusion et de l'absorption du rayonnement;
- ✓ indirect : c'est-à-dire par modification des propriétés de la couverture nuageuse.

a) **Effets directs** : les aérosols ont un impact direct sur le climat qui est lié à leur capacité de réflexion, d'absorption et de diffusion des rayonnements solaires incidents.

Globalement, les aérosols contribuent donc à un refroidissement de l'atmosphère terrestre. Cependant, les propriétés optiques de réflexion, d'absorption et de diffusion des rayons solaires dépendent elles-mêmes de la taille, de la composition chimique, de l'état physique et de la forme des particules.

En effet, la figure I.17 montre que le « Black Carbon » (BC) contribue plutôt à un réchauffement de l'atmosphère terrestre avec un forçage radiatif positif tandis que les particules minérales ou composées de sulfates, de nitrates ou celles comprenant des composés organiques contribuent plutôt à une composante négative de ce forçage radiatif. Cependant, de grandes incertitudes demeurent sur cet effet direct, en particulier car la composition chimique des aérosols, dont principalement la fraction organique, ainsi que le lien avec les propriétés optiques des particules ne sont toujours pas, à l'heure actuelle bien caractérisés [21].

b) **Effets indirects** : l'effet indirect climatique peut être décomposé en deux sous effets :

- ✓ *l'effet indirect radiatif lié à la profondeur optique de l'aérosol :*

Cet effet est de même nature que l'effet direct, mais il prend en compte la nature chimique de l'aérosol. La profondeur optique dépend principalement des espèces chimiques adsorbées à la surface de l'aérosol. La lumière solaire est différemment réfractée et absorbée suivant la nature et la concentration de ces composés chimiques. La quantité de lumière disponible pour les réactions photochimiques est modifiée par la présence de ces composés chimiques.

- ✓ *l'effet indirect radiatif lié à l'albédo et à la présence des nuages :*

Ce paramètre est lié à la taille de l'aérosol et à sa composition chimique. Les substances chimiques peuvent favoriser ou défavoriser la formation des nuages et modifier l'albédo de l'aérosol. Les particules submicroniques (0,05 à 1 μm) se comportent comme des noyaux de condensation de nuages (appelés souvent CCN : Cloud Condensation Nuclei). Si les composés présents en surface sont hydrophiles,

la formation de gouttes d'eau autour de la particule atmosphérique est favorisée. S'ils sont hydrophobes la formation de gouttes d'eau est défavorisée. La couleur des composés intervient aussi sur l'albédo. Les composés noirs (souvent d'origine anthropique) absorbent la lumière, tandis que les composés clairs (les argiles par exemple) la reflètent [22].

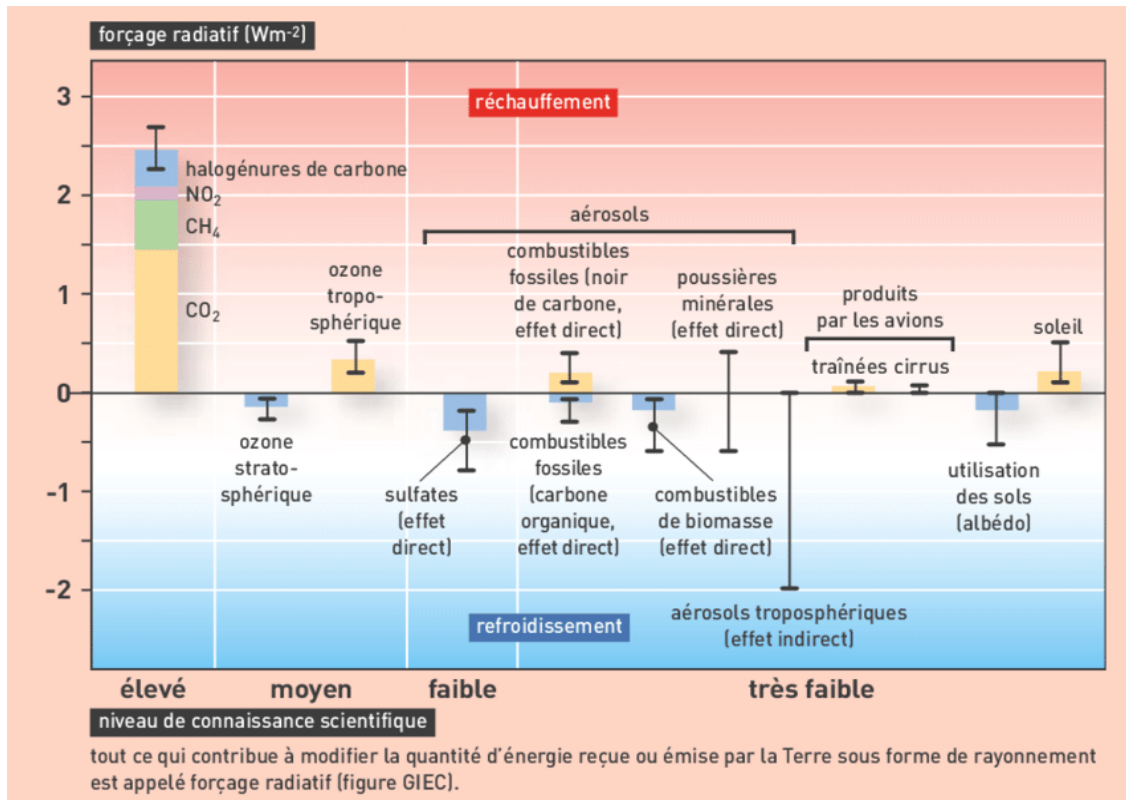


Fig. I.17. Représentation des différents effets radiatifs (a) direct et (b) indirect, des aérosols.

Ces deux sous-effets indirects, tous liés à la présence de composés chimiques dans ou sur l'aérosol, ne sont pris en compte que depuis peu et leur connaissance reste encore très limitée.

c) Autres impacts

✓ Réduction de la visibilité :

Par leurs propriétés optiques de dispersion et d'absorption des radiations lumineuses du visible, les aérosols interviennent de manière prépondérante dans les phénomènes de réduction de la visibilité (formation de brumes et de brouillards lors des épisodes de pollution photochimique intenses) [23,24].

✓ *Précurseurs d'Ozone :*

Les substances organiques, surtout si elles sont présentes à la surface de particules peuvent interagir avec les oxydants de l'atmosphère par réactions hétérogènes chimiques ou photochimiques. Elles modifient ainsi le bilan des réactions photochimiques avec les radicaux OH et sont fréquentes avec les composés organiques particuliers. Au même titre que les gaz, l'aérosol peut donc être un puits ou une source d'ozone [25-27].

I.8. Les protocoles liés au changement climatique

Le GIEC et la prise en compte du climat dans l'agenda international :

Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat est créé en **1988**.

1992 : premier protocole de réduction des émissions dans le cadre de la convention cadre de l'ONU sur les changements climatiques (CCNUCC) signé au moment du Sommet de la Terre de Rio.

1997 : le protocole de Kyôto fixe des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

2005 : le Protocole de Kyôto prend effet et est bloqué par des pays non signataires et des lobbies industriels.

2007 : le Prix Nobel de la Paix décerné au GIEC et à Al Gore.

2009 : Sommet de Copenhague : échec des négociations visant à l'adoption d'accords. Contraignants des émissions de CO₂ : montée en puissance de la « colère » des ONG.

2010 à 2015 : un rythme d'une COP par an avec pour objectif de limiter à 2 degrés le réchauffement climatique horizon 2100 est décidé [28].

I.9. Conférence des parties « conférence of the parties » (COP)

Les conférences des parties (COP) ont commencé à Berlin en 1995, dans le but principal d'examiner la mise en œuvre du «Convention de Rio» - la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) - qui est entrée en vigueur le 21 mars 1994.

La CCNUCC a été adoptée lors du sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992, et définit un cadre destiné à stabiliser les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (GES) afin de «prévenir les interférences anthropiques dangereuses du système climatique.

L'adhésion à la CCNUCC est désormais pratiquement universelle en décembre 2015, et se composait de 197 parties.

Certains des plus importants les conférences (et leurs actions associées) incluent la COP (Protocole de Kyoto adopté), COP11 (Plan d'action de Montréal approuvé), COP15 à Copenhague (accord non atteint pour la mise en œuvre du Protocole de Kyoto) et COP17 en Durban (Fonds vert pour le climat approuvé).

I.9.1. COP21 (Paris 2015)

La Conférence de Paris est la plus importante de la «Conférence des parties» annuelle, elle se démarque de toutes les précédentes conférences, elle vise à limiter le réchauffement climatique à "bien moins" que 2°C au-dessus des niveaux préindustriels (avec un objectif de 1,5°C), en établissant un accord universel sur le climat entre tous les nations du monde. Les négociations COP21 ont abouti au "l'Accord de Paris" adopté le 12 décembre 2015, qui réglemente les mesures de la réduction du changement climatique à partir de 2020, et elle a conclu les travaux du Durban mise en place dans le cadre des activités de la COP17. Moins d'un an après, le 4 novembre 2016, l'Accord de Paris (COP 21) entre officiellement en vigueur.

Le seuil des ratifications « 55 Etats représentant 55 % des émissions de gaz à effet de serre » a été atteint en moins d'un an. Après avoir retenu son souffle durant les 12 jours d'intenses négociations entre les 197 parties réunies pour la Conférence de Paris, la planète respire. Un accord équilibré a été signé pour engager la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il confirme l'objectif central de contenir l'augmentation de la température moyenne en deçà de 2 degrés, et de s'efforcer de limiter cette augmentation à 1,5 degré, afin de réduire les risques et les impacts liés aux conséquences du changement climatique [29].

L'accord est nécessairement équilibré :

- ✓ universel et juridiquement contraignant
- ✓ différencié et juste,
- ✓ durable et dynamique,

I.9.1.1. Un accord juridique universel et applicable à tous

Les 197 « parties à la négociation » se sont engagées à formuler des stratégies de développement à faible émission de gaz à effet de serre sur le long terme. C'est la première

fois qu'un accord universel a été conclu en matière de lutte contre le dérèglement climatique. Certaines règles juridiquement contraignantes s'appliquent aux Etats parties, comme l'obligation pour les pays développés d'apporter un soutien financier aux pays en développement pour la mise en œuvre de l'accord.

I.9.1.2. Un accord juste et différencié

Face au défi climatique, l'accord reconnaît une responsabilité partagée mais différenciée des Etats, c'est-à-dire en fonction des capacités respectives et des contextes nationaux différents. Il prend notamment en compte le niveau de développement et les besoins spécifiques des pays particulièrement vulnérables. Outre les engagements financiers, les pays industrialisés devront faciliter les transferts de technologie, et plus largement l'adaptation à une économie dé-carbonée. En matière de transparence, un système de suivi des engagements nationaux, avec une certaine flexibilité pour les pays en développement, permet de suivre les efforts de chacun.

I.9.1.3. Un accord durable et dynamique

Avec un « agenda de l'action », qui visait notamment à mettre en œuvre les accélérateurs qui permettront, au-delà des objectifs contraignants, de garantir des progrès plus ambitieux. Les contributions prévues déterminées au niveau national (Intended Nationally Determined Contributions ou INDC) actuel, qui correspondent aux plans nationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre, portent désormais sur plus de 98 % des émissions mondiales, lorsque le protocole de Kyoto n'en couvrait que 11 % [29].

L'accord de Paris couvre tous les aspects cruciaux pour aboutir à une conclusion déterminante [30] :

- 1) Atténuation et réduire les émissions suffisamment rapidement pour respecter l'objectif en termes de température ;
- 2) Un système de transparence et de responsabilité mondiale en matière d'action pour le climat ;
- 3) Adaptation et renforcer la capacité des pays à gérer les effets du changement climatique ;
- 4) Pertes et préjudices et renforcer la capacité à se remettre des effets du changement climatique ;
- 5) Appui notamment financier, afin que les nations bâtissent un futur propre et résilient.

I.9.2. L'objet de l'accord COP21

L'objet de l'accord de Paris est de renforcer la riposte mondiale à la menace des changements climatiques. Il vise à y parvenir en :

- ✓ « Contenant l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation des températures à 1,5°C par rapport aux niveaux pré industriel, était entendu que cela réduise sensiblement les risques et les effets des changements climatiques » (article 2.1a) [31]; L'élévation de température observée en 2015 par rapport à 1850 est déjà de 1°C et ne peut que s'accroître du fait des phénomènes physiques engagés, même dans l'hypothèse où le flux net des émissions deviendrait nul à partir de 2016, ce qui ne se fera pas l'accord renvoie explicitement cette perspective de jeu à somme nulle entre émissions et absorptions à la seconde moitié du siècle [32].
- ✓ « Renforçant les capacités d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques et en promouvant la résilience à ces changements et un développement à faible émission de gaz à effet de serre, d'une manière qui ne menace pas la production alimentaire » [31] (article 2.1 b).
- ✓ « Rendant les flux financiers compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilient aux changements climatiques » (article 2.1c) [31].

La COP 21 a fait un pari pour l'avenir plus qu'elle n'est parvenue à mettre la communauté internationale en ordre de bataille pour être à la hauteur du but initialement formulé par la Convention-cadre : « éviter une interférence dangereuse avec le système climatique » [32].

Partie II:

Caractérisations physico-chimiques des aérosols

II.1. Introduction

La caractérisation physico-chimique des aérosols nécessite la mise en place d'une stratégie expérimentale multi-instrumentée permettant l'étude d'un grand nombre de paramètres (granulométrie, masse, nombre, composition chimique, propriétés optiques...).

Ce que l'on fait soit in situ (en ligne) ou, indirectement par un échantillonnage sur site, un transport et une analyse différée en laboratoire.

L'objectif de cette partie est de présenter les différentes techniques d'analyse physico-chimique des aérosols.

II.2. Analyses chimiques des aérosols

II.2.1. Prélèvements des aérosols

L'échantillonnage sur filtre est la méthodologie normalisée et de référence, pour les réseaux de qualité de l'air. Peu onéreux et facile à mettre en œuvre, il présente en outre l'avantage d'offrir une large gamme de débits de prélèvements permettant de l'adapter à l'environnement étudié. Cette méthode de prélèvement est compatible avec un vaste éventail de techniques d'analyse de la composition chimique de l'aérosol [33].

Il existe trois types de prélèvements par filtration :

- ✓ un système de prélèvement « manuelle » développé au laboratoire ;
- ✓ un système de prélèvement « manuelle » utilisant la ligne « by-pass » du TEOM;
- ✓ un système « automatique » et normalisé : le PARTISOL PLUS®.

II.2.1.1. Prélèvements manuels

Ce système comprend (figure II.1) :

- ✓ Une tête de coupure cyclonique afin d'échantillonner sélectivement l'aérosol fine ;
- ✓ Des denuders pour piéger les gaz susceptibles d'interagir avec le filtre ;
- ✓ un porte-filtre « en ligne » ;
- ✓ Une pompe munie d'une régulation passive du débit (orifice critique ou Vanne de régulation) permettant d'obtenir le débit demandé par la tête de coupure;
- ✓ Un compteur volumétrique d'air.

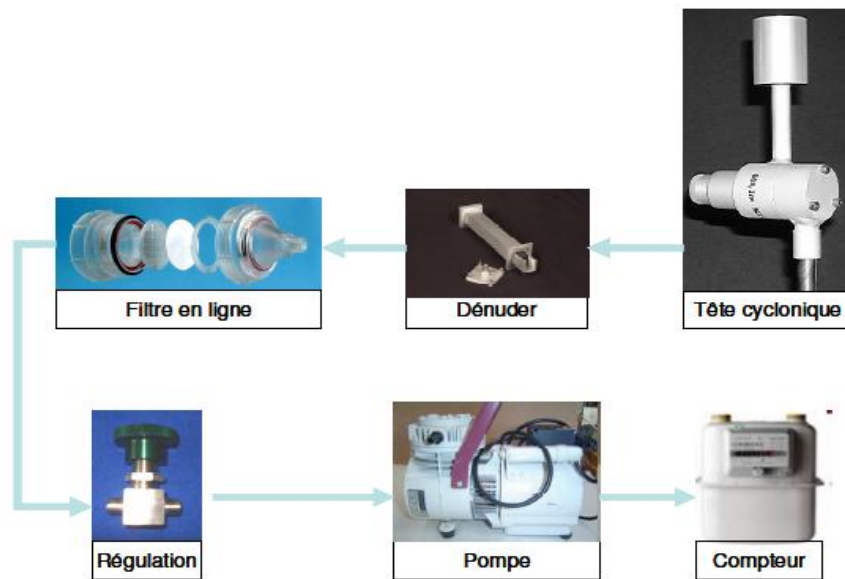


Fig. II.1. Schéma de principe de prélèvement manuel.

II.2.1.2. Prélèvement par le système TEOM: (Tapered Element Oscillating Microbalance)

Cet équipement est rapporté dans le schéma ci-dessous (Figure II.2), il comprend :

- ✓ La tête de coupure de l'instrument TEOM, fonctionnant à 16.66 L/min ($1 \text{ m}^3/\text{h}$) ;
- ✓ La ligne by-pass de l'instrument TEOM fonctionnant à 13.66 L/min ;
- ✓ Le porte-filtre en ligne ;
- ✓ L'unité de contrôle du TEOM (dont un débitmètre massique dynamique) ;
- ✓ La pompe.

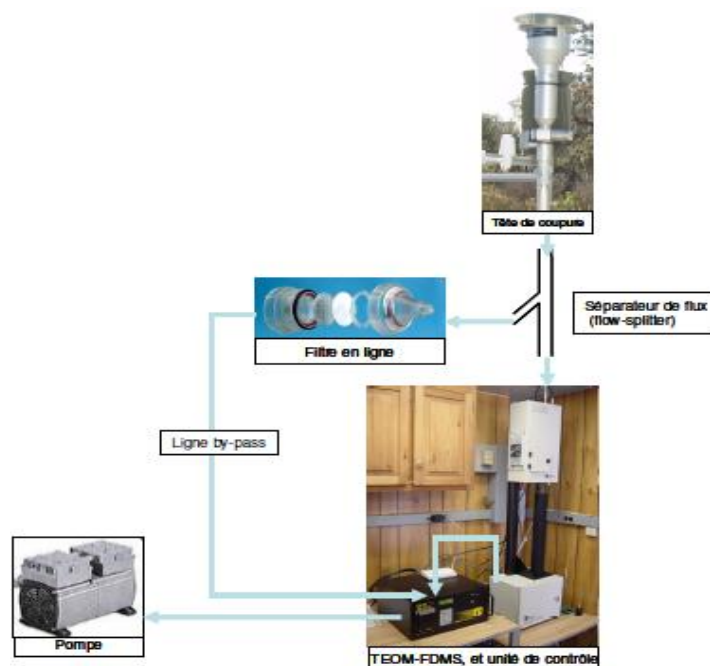


Fig. II.2. Schéma de principe de prélèvement par le système TEOM.

II.2.1.3. Prélèvement automatique (PARTISOL)

Le système en (Figure II.3) est l'instrument PARTISOL PLUS®.

L'aérosol est prélevé selon un programme préétabli par l'utilisateur qui spécifie à la fois les temps de prélèvements et les changements de filtres ainsi que le débit de fonctionnement. Tous les paramètres principaux (débits, température...) sont enregistrés permettant un suivi précis de l'historique de chacun des filtres.



Fig. II.3. Schéma de prélèvement automatique PARTISOL PLUS®.

II.2.1.4. Choix des types des filtres

Il existe sur le marché un grand nombre de filtres aux propriétés différentes. Le choix du type de filtre est orienté par l'adéquation entre les propriétés intrinsèques du filtre (matière, épaisseur, porosité), la fraction de l'aérosol que l'on souhaite analyser (ions, carbone...) et la technique d'analyse retenue. Pour la mesure des ions, il faut utiliser des filtres en polycarbonate en raison de la très faible teneur en espèces ioniques des filtres vierges ainsi que de leur très faible affinité avec les gaz atmosphériques (vapeur d'eau, composés organiques volatils...) ce qui diminue d'autant les artefacts liés à l'adsorption de ces gaz. Pour l'analyse du carbone, il faut utiliser des filtres en fibres de quartz à matrice réfractaire seuls capables de résister aux températures atteintes lors des mesures thermiques ou thermo-optiques du carbone particulaire.

Avant utilisation, ces filtres sont placés dans un four à 480 °C pendant 4 h afin d'abaisser la teneur en carbone des filtres vierges. Ces filtres brûlés sont stockés par lots de 50 dans des boîtes protégées par de l'aluminium jusqu'à emploi.

II.2.2. Analyse de la fraction organique des aérosols par la chromatographie en phase gazeuse couplée à spectrométrie de masse (CG-SM) [34]

Le couplage chromatographie en phase gazeuse – spectrométrie de masse (CG/SM) est aujourd’hui une des techniques parmi les plus utilisées de la chimie. La désignation « composé organique » est un terme général qui sert à désigner une gamme de composés issus de plusieurs familles telles que les composés aliphatiques halogène (chlorométhane, chloropropane, hexachlorobutadiène, trihalométhane, etc.), les composés aromatiques monocycliques (benzènes, chlorobenzènes, éthyle benzène, etc.) et certains composés aromatiques polycycliques (naphtalène, etc.). Les sources de rejet de ces composés sont principalement d'origine anthropique. Ils sont trouvés dans de nombreuses applications industrielles, agricoles et domestiques.

II.2.2.1. Conditions opératoires CG/SM

Il faut utiliser un couplage GC5890/MS5973 Agilent Technologies pour les analyses après extraction par solvant. Le GC est équipé d'une colonne J&W DB-5MS (longueur : 60 mètres, diamètre : 0,257 mm, phase stationnaire : copolymère de diphényl (5%) et diméthyl (95%) siloxane). Les conditions analytiques sont les suivantes : Injection en mode splitless et au terme d'un palier de 2 minutes à 36°C, la température de la colonne est augmentée de 5°C/minute jusqu'à 300°C pour les analyses de SP 95 et des solvants chlorés, jusqu'à 320°C avec un palier final de 10 minutes à 320°C pour le gazole. Le gaz vecteur utilisé est l'hélium avec un débit dans la colonne fixé à 1 mL.min⁻¹. La température de l'injecteur du GC est fixée à 200°C.

II.2.2.2. Principe de la méthode CG/SM

La détermination des composés organiques s'effectue en deux étapes. La première étape consiste à transférer les composés organiques de l'échantillon aqueux à l'aide d'un système « Purge and Trap ». Dans le système « Purge and Trap », un gaz inerte circule à travers l'échantillon dans un barboteur spécialement désigné à cet effet à la température ambiante. Les composés organiques sont ainsi transférés de l'échantillon aqueux sur une colonne contenant un adsorbant où les composés volatils sont captés. Dans la seconde étape, la colonne contenant l'adsorbant est chauffée et la circulation du gaz inerte est inversée pour désorber les composés volatils sur une colonne chromatographique. La température du chromatographe en phase gazeuse est programmée pour séparer les différents composés qui, par la suite, sont détectés avec un spectromètre de masse. Le système utilisé est un détecteur

de masse de type quadripolaire fonctionnant dans le mode balayage d'ions de 35 à 450 uma (SCAN).

La concentration des composés est déterminée par comparaison des surfaces, à un temps de rétention donné, obtenues pour l'échantillon et celles de chacune des solutions étalons des composés organiques.

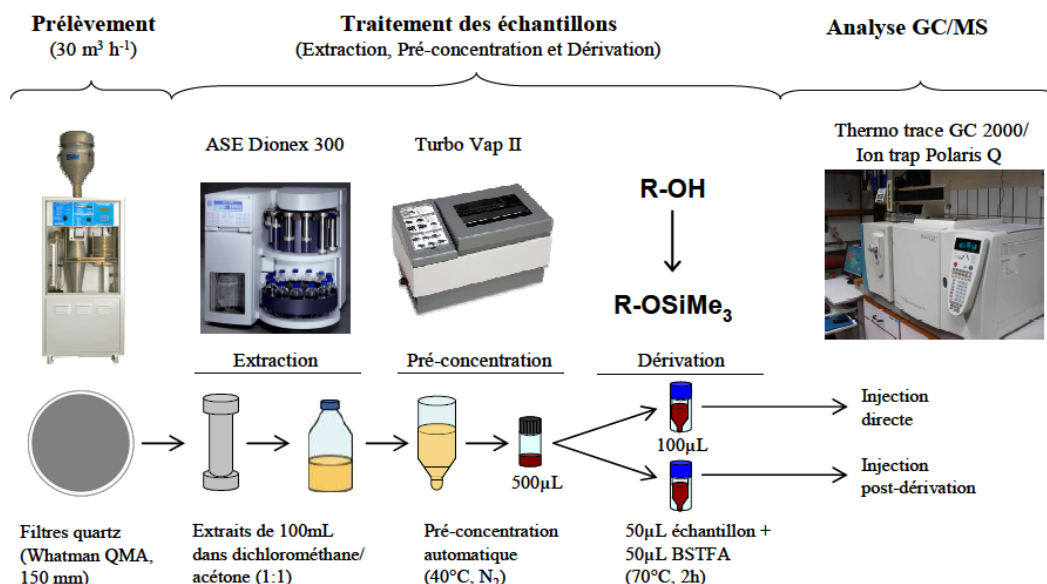


Figure. II.4. Chaîne analytique utilisée pour la spéciation de la matière organique particulaire.

II.2.3. Analyse de la fraction inorganique d'aérosol par la chromatographie ionique(CI)

La chromatographie ionique associe une séparation par chromatographie d'échange d'ions à une méthode de détection appropriée, conductimétrie ou absorptiomètre (par diminution d'absorbance). Cette méthode permet de doser simultanément plusieurs ions comme le Calcium (Ca²⁺), Magnésium (Mg²⁺), Sodium (Na⁺), Potassium (K⁺), Ammonium (NH₄⁺), Chlorure (Cl⁻), Nitrite (NO₂⁻), Nitrate (NO₃⁻), Sulfate (SO₄²⁻) et Phosphate (PO₄³⁻).

Cette technique repose sur la séparation des différents ions présents dans une solution par effet de leurs interactions avec les sites ioniques à la surface de la phase stationnaire et les molécules de l'éluant (phase mobile). Les anions (Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ et PO₄³⁻) sont séparés sur une colonne de type anionique (AG18 et AS18) alors que les cations (Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺ et Ca²⁺) sont analysés à l'aide d'une colonne dite cationique (GC16 et CS16), en utilisant les éluant de composés hydroxy de potassium (KOH) pour les anions et l'acide méthane sulfonique (CH₃SO₃) pour les cations.

Lorsque l'échantillon est injecté en tête de colonne, les ions sont emportés par l'éluant, injecté par la pompe, vers la colonne puis y sont retenus selon leur affinité avec la phase stationnaire. Le flux continu de l'éluant permettra de libérer les ions fixés en commençant par celui ayant le moins d'affinité pour la résine. Après élution, la solution passe dans un suppresseur permettant de diminuer le bruit de fond résultant de la conductivité de l'éluant ce qui permet donc d'augmenter la précision de la chromatographie. Enfin, la détection des ions est assurée par une cellule de conductivité. Les concentrations en anions/cations sont obtenues par rapport à une gamme d'étalonnage multi élémentaire. Chaque analyse est réalisée en dupliqué et les résultats ont été validés en passant un matériel de référence de concentration connue en ions et des blancs [35].

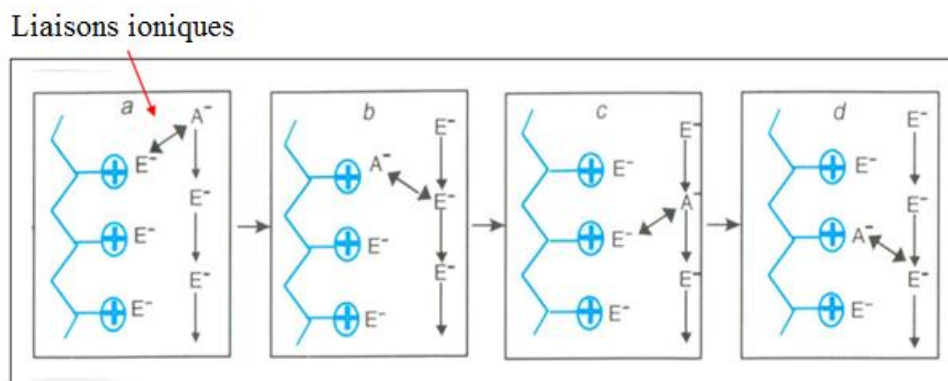


Fig. II.5. Exemple d'un échange anionique régi par l'équation d'équilibre qui détermine la répartition de l'espèce entre la ϕ mobile et la ϕ stationnaire.

II.2.4. Analyse de la matière carbonée EC/OC d'aérosol par thermo-optique

L'aérosol carboné est extrêmement complexe et il n'est pas envisageable de mesurer individuellement chacune des espèces chimiques le composant. La mesure de la masse d'atomes de carbone par thermo-optique reste aujourd'hui la méthode la mieux adaptée pour quantifier cette matière carbonée. Pour effectuer cette mesure, les propriétés thermiques et/ou optiques de l'aérosol carboné sont utilisées. La masse totale de carbone présent dans l'aérosol est notée TC (pour Total Carbon). Par définition, cette fraction TC exclut les carbonates, sources minérales de carbone dans les aérosols. Ce TC est divisé en deux fractions : carbone organique (OC) et Carbone Élémentaire (EC).

Cette mesure des fractions EC et OC contenues dans l'aérosol sont un compromis entre les mesures optiques et thermiques. Les déterminations des fractions OC et EC dans les échantillons sont réalisés à l'aide d'un analyseur EC/OC (Sunset Lab), selon la méthode Thermo-optique de transmission (TOT) décrite par van Pinxteren [35].

L'échantillon est positionné sur un support de quartz et placé dans le four. Dans un premier temps, l'échantillon est chauffé, jusqu'à près de 870 °C avec utilisation d'hélium pur. Ces conditions doivent permettre au carbone organique de désorber et d'être conduit dans le deuxième four empli de Mn_2O (catalyseur d'oxydation) où il est quantitativement oxydé en CO_2 .

Dans un deuxième temps, l'échantillon est placé sous atmosphère oxydante (Hélium à 98% / oxygène à 2%) conduisant à l'oxydation et volatilisation du carbone élémentaire réfractaire restant sur le filtre. Le carbone élémentaire ainsi désorbé est également quantitativement transformé en CO_2 dans le deuxième four. Comme indiqué sur la figure II.6, le CO_2 ainsi formé lors de l'analyse, n'est pas directement mesuré, mais passe dans un méthanisateur afin d'être converti en CH_4 , espèce détectée quantitativement par le détecteur à ionisation de flamme (FID). Lors de la première étape thermique (hélium pur), une partie du carbone organique ne parvient pas à se volatiliser : par suite de pyrolyse, il reste sur le filtre.

Ce carbone «pyrolytique» a des propriétés proches de celles du carbone élémentaire : il est réfractaire et absorbe la lumière. De ce fait, il ne pourra désorber que lors de la deuxième étape destinée à la mesure du carbone élémentaire et sera détecté avec lui. Cela entraîne une sous-estimation du OC (le carbone pyrolytique n'étant pas pris en compte) et donc une surestimation du EC. Pour y remédier, un laser rouge est utilisé, qui permet d'effectuer une correction optique.

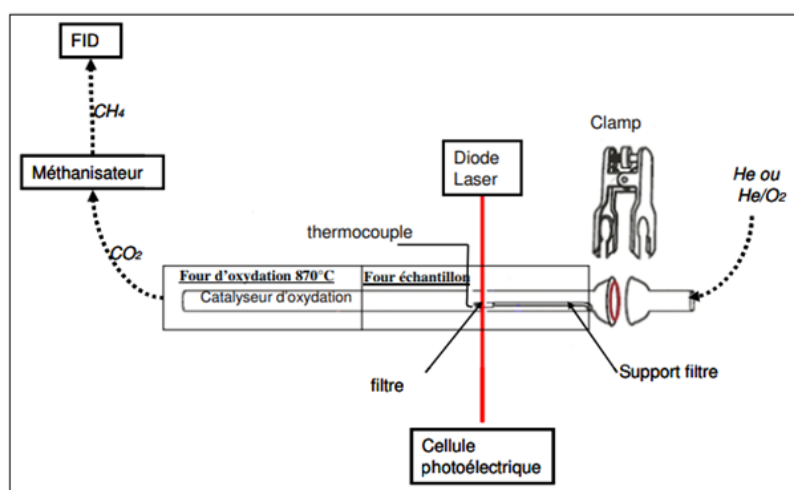


Fig. II.6. Schéma de principe de fonctionnement de la méthode thermo-optique.

II.2.5. Spectromètre de masse d'aérosols (AMS)

Pour caractériser les propriétés chimiques des aérosols atmosphériques, soit leur composition chimique (ex: s'ils sont composés de chlore, de molécules organiques, etc.), il est important de choisir un appareil pouvant donner des informations de manière quantitatives en temps réel sur la distribution de la masse et la composition en fonction de la taille des particules [36].

Le spectromètre de masse aérosol AMS est un instrument couplé à un thermo-désorbeur avec une source d'ionisation à base d'impact électronique (EI) permet, à partir des fragments m/z détectés et moyennant des tables de fragmentation d'effectuer des mesures de la composition chimique d'aérosols non-réfractaires.

Cet appareil permet une grande sensibilité pour l'analyse quantitative en temps réel de la distribution de taille de composés semi-volatils présents dans l'atmosphère, à savoir principalement les nitrates (NO_3^-), sulfates (SO_4^{2-}), ammonium (NH_4^+), potassium (K^+) et la matière organique [37].

Le chemin parcouru par les particules analysées, comme démontré par la Figure. II.7, commence par l'entrée d'air de l'AMS, qui limite le débit d'aérosols entrant grâce à un diamètre limité de 100 μm . Ensuite, les particules vont être convergées en un faisceau étroit par une lentille aérodynamique, composé de plusieurs ouvertures permettant la convergence. Le faisceau de particules est ensuite dirigé vers une chambre sous vide permettant une accélération des particules par inertie, grâce à une différence de pression, car tout le système de l'AMS est placé sous vide. Une fois accélérées, les particules passent au travers d'un hachoir, d'où celui-ci est un disque tournant, composé de deux fentes à 180° l'un de l'autre.

Grâce au hachoir, les particules sont séparées selon leur vitesse de déplacement, qui est mesurées par temps de vol lorsqu'elles passent entre le hacheur et le détecteur, où le détecteur est un spectromètre de masse (MS) composé d'un quadripôle. Il est à noter que la vitesse des particules est inversement proportionnelle à leur masse individuelle, ce qui implique qu'une particule ayant une grande taille, et donc une grande masse, se déplacera plus lentement ce qui permet de séparer aisément les particules selon leur taille.

Une fois les particules séparées par leur taille, celles-ci passent, par ordre croissant de taille, dans un tube en céramique enroulé d'un fil de tungstène 29 (W), ce qui induit une chauffe des particules jusqu'à une température de 600°C . Ce réchauffement cause une évaporation instantanée des composés volatils et semi-volatils (dans l'ordre du μm par seconde), permettant une transformation en ions positifs pas EI. Toutefois, des composés non-volatils comme le carbone noir, le chlorure de sodium (NaCl) et certains métaux s'évaporent difficilement, ou tout simplement pas, ce qui rend difficile l'analyse par l'AMS. Cependant,

après que les particules ionisées soient sélectionnées dans le quadripôle du MS, celles-ci sont envoyées dans un électro-multiplificateur afin de convertir les ions en signal électrique. Ainsi, l'AMS permet de déterminer la composition chimique des particules atmosphériques selon la distribution de leur masse.

Ainsi, autant la concentration en vrac que la taille des particules ont été mesurées par l'AMS en succédant entre les modes MS et PToF (temps de vol des particules). Il est à noter qu'il est possible de retirer complètement le hachoir du faisceau de particules afin de mesurer en vrac (sans aucune résolution des particules selon leurs tailles) le diamètre des particules [36].

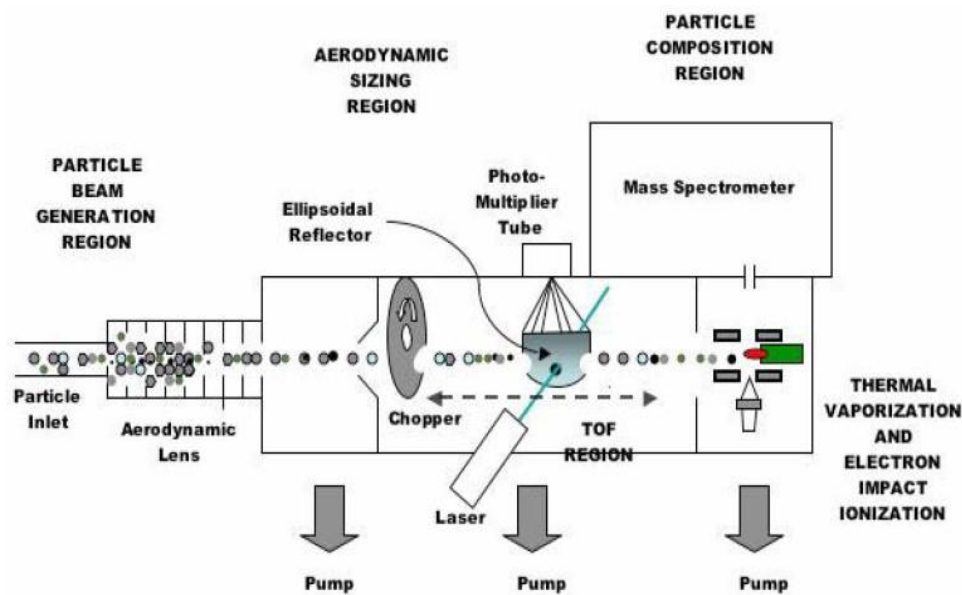


Fig. II.7. Schéma illustrant la composition d'un AMS.

II.2.6. Spectrométrie de fluorescence X

La spectrométrie de fluorescence X permet l'analyse quantitative d'un grand nombre d'éléments chimiques de matières particulaires collectées sur filtres, considérés comme couches minces, en particulier pour les aérosols atmosphériques.

La fluorescence, ou l'émission des rayonnements par un atome, se produit après l'interaction d'une particule avec l'atome, entraînant son excitation. Cela peut avoir lieu lors d'une interaction au cours de laquelle un atome reçoit une quantité d'énergie suffisante pour déplacer un électron de son état fondamental vers un état excité. Dans ce cas, l'atome dans un état excité va ensuite retrouver son état stable en revenant à sa configuration électronique initiale. Un électron d'une couche supérieure va descendre pour combler la place laissée vide par l'électron éjecté en émettant des radiations électromagnétiques d'une énergie équivalente à

la différence d'énergie entre les deux niveaux impliqués dans la transition. Ces rayonnements sont appelés rayons X.

Dans l'application de l'analyse multi-élémentaire par fluorescence X, deux approches sont utilisées, la fluorescence induite par une source primaire de rayonnement électromagnétique (rayonnement gamma des éléments radioactifs et tubes à rayon X) et la fluorescence induite par un faisceau de particules chargées (électrons, protons, particules alpha, ions lourds). Ces techniques permettent l'analyse élémentaire, c'est-à-dire qu'on peut connaître la quantité de tel ou tel atome, mais on ne peut pas déterminer sous quelle forme chimique.

L'analyse élémentaire est possible grâce à des spectres de rayons X. On irradie l'échantillon à analyser par un faisceau de photons. Sous l'effet de ces derniers, l'échantillon émet des rayons x qui lui sont propres, c'est la fluorescence. Les spectres observés sont caractéristiques des éléments présents, et l'aire des pics permet de déterminer leur quantité. Cette technique présente plusieurs avantages :

- ✓ La XRF est applicable à des types d'échantillons très variés : minéraux, métaux, huiles, eau, ciments, polymères, verres, ...,
- ✓ les conditions de préparation des cibles ne sont pas contraignantes,
- ✓ La technique peut être non destructive.

La meilleure analyse par un système XRF est liée au choix approprié du mode d'excitation. Le mode d'excitation peut être dicté par la nature de l'analyse, c'est-à-dire selon la composition de l'échantillon et les éléments à analyser. Il y a un certain nombre de facteurs à considérer, section efficace d'excitation, chevauchement des pics et effets de matrice. Dans le meilleur des cas, chaque élément devrait être analysé par l'intermédiaire des rayons X caractéristiques avec un minimum d'interférence et une grande efficacité de détection. En pratique, en spectrométrie de fluorescence X, on utilise comme moyens d'excitation :

- ✓ des éléments radioactifs, en utilisant le rayonnement gamma émis par leur décroissance pour exciter la cible,
- ✓ les tubes à rayons X dont l'émission de l'anticathode lors du bombardement électronique est utilisée pour exciter la cible [38].

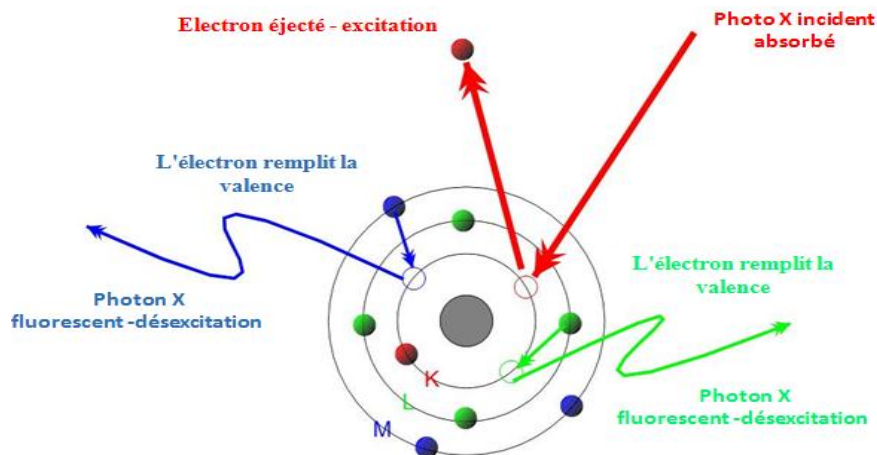


Fig. II.8. Phénomènes d'excitation et de déexcitation de l'atome.

II.2.7. Exemple des résultats obtenus en utilisant ces techniques d'analyse chimique [39]

Tableau II.1. Concentrations moyennes en ions, éléments métaux, OC/EC et des composés organiques dans les aérosols atmosphériques, collectés durant la campagne (2011-2012), à Bou Ismail.

Composés	Septembre (n=10)	Octobre (n=22)	Novembre (n=18)	Décembre (n=20)	Janvier (n=14)
Analyse des composés organiques par CG/SM					
n-Alcanes	38.3	29.9	20.1	19.5	30.9
HAPs	8.30	8.05	9.52	9.35	14.9
Hopanes	0.44	0.42	0.36	0.33	0.55
Alcane-2-one	4.47	4.68	4.24	5.79	6.18
Analyse des ions par (CI) en ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)					
Cl^-	0.19	0.18	0.99	0.56	0.42
NO_3^-	0.95	1.02	1.52	1.11	0.97
SO_4^{2-}	2.44	1.82	0.85	0.74	0.91
Br^-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PO_4^{3-}	0.13	0.27	0.19	0.13	0.33
Na^+	0.19	0.27	0.82	0.42	0.38
NH_4^+	0.90	0.57	0.15	0.29	0.29
K^+	0.14	0.14	0.10	0.08	0.08
Mg^{2+}	0.02	0.03	0.10	0.05	0.04
Ca^{2+}	0.10	0.14	0.36	0.22	0.15
Analyse de EC/OC par la thermo-optique					
OC ($\mu\text{g m}^{-3}$)	3.51	3.72	2.90	3.01	1.98
EC ($\mu\text{g m}^{-3}$)	1.21	1.36	1.33	1.21	0.93
TC ($\mu\text{g m}^{-3}$)	4.73	5.08	4.23	4.22	2.90

Analyse des éléments métaux par rayons -X en (ng.m ⁻³)					
Al	8.58	10.66	14.46	15.83	14.03
Ti	4.26	6.45	14.77	17.35	16.97
V	0.99	0.63	0.41	0.38	0.49
Cr	0.12	0.11	0.25	0.30	0.27
Mn	0.02	0.00	0.28	0.10	0.01
Fe	4.01	4.99	12.15	14.39	13.28
Cu	0.23	0.13	0.20	0.02	0.04
Zn	8.78	3.5	6.36	2.17	8.27
Ba	7.41	9.62	28.20	36.66	34.73
Pb	8.20	10.64	4.76	3.91	5.91

➤ Analyse des composés organiques par CG/SM

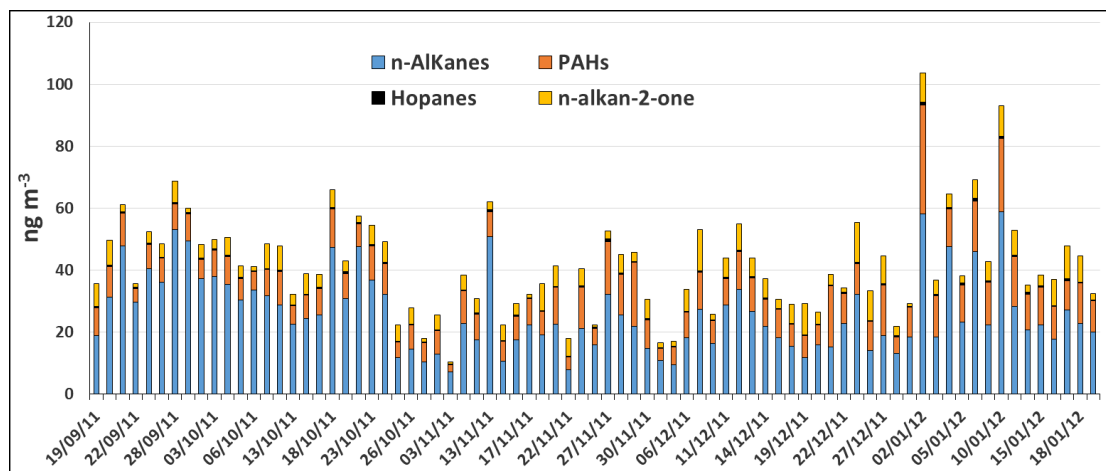


Fig. II.9. Série chronologique de concentration des concentrations cumulées de n-alcane, hopanes, n-alkan-2-one, HAP et leurs dérivés.

La figure. II.9 présente les concentrations cumulées moyennes de chaque groupe de composés organiques enregistrées sur une période de cinq mois. Les rendements totaux (la somme de toutes les matières organiques identifiées) observées dans la région Bou Ismaïl sont également donnés. Les concentrations totales moyennes de n-alcane déterminées au cours des cinq mois sont 38,3 ng.m⁻³ (septembre), 29,9 ng.m⁻³ (octobre), 20,1 ng.m⁻³ (novembre), 19,5 ng.m⁻³ (Décembre) et 30,9 ng.m⁻³ (janvier). Contrairement à ce qui a été observé pour les alcanes, les concentrations moyennes des hap déterminées pendant les mois d'hiver (12.12 ng.m⁻³) sont plus importants que ceux de l'automne (8.62 ng.m⁻³). Ils semblent correspondre à l'évolution générale de la météorologie dominante de la région de Bou Ismaïl, bien que les processus de combustion sont les principales sources de ces composés (Khedidji et al., 2017 ; Rabhi et al., 2018).

En effet, l'inversion de température dans la basse troposphère est très fréquente en hiver et empêche la dispersion des HAP pour qu'ils s'accumulent au-dessus de la couche superficielle de la terre, tandis que les basses températures ambiantes se déplacent la partition des espèces semi-volatiles vers la phase condensé (Ladji et al., 2009a). Néanmoins, la concentration des HAP déterminés au cours des différentes périodes des campagnes sont inférieures à celles des alcanes. Une série d'hopanes a été détectée dans les échantillons marins, avec des concentrations totales allant de $0,14 \text{ ng.m}^{-3}$ en Novembre et 1 ng.m^{-3} en janvier. Les concentrations des composés mesurés en hiver étaient légèrement plus élevées que ceux de l'automne.

Cependant, les distributions de la série hopane dérivée de l'autre période étaient très similaires. Cela suggère que les caractéristiques d'émission des hopanes pourraient être indépendante de la variation temporelle.

Les hopanes peuvent se décomposer en réagissant avec les radicaux OH dans l'atmosphère, et ils ont tendance à disparaître rapidement, laissant la place pour leurs sous-produits d'oxydation (Fu et al., 2010).

Les hopanes sont connus comme marqueurs moléculaires du pétrole et ils sont des composés indicateurs spécifiques principalement présents dans les fractions d'hydrocarbures. Ils peuvent être utilisés pour tracer les contributions des gaz d'échappement des véhicules automobiles aux particules en suspension dans l'air (El Haddad et al., 2009). La teneur totale en n-alcane-2-one était comprise entre $0,67$ et $13,24 \text{ ng.m}^{-3}$ et culminé en décembre. Le même modèle de la distribution des concentrations de n-alcane-2-one a été observé dans les deux saisons, ce qui suggère qu'ils proviennent des mêmes sources. Cependant, les niveaux de n-alcane-2-one étaient beaucoup inférieurs à ceux des n-alcanes. En outre, deux sources principales sont connues pour être responsable de la présence de n-alcane-2-one dans l'air : la combustion incomplète et α -oxydation microbienne in situ de la chaîne carbonée (Yassaa et al., 2001a). La première source crée souvent du n-alcane-2-one avec une prédominance de nombre impair atomes de carbone; par contre, la dernière source donne lieu au contraire.

Dans cette étude, une forte prédominance de n-alcane-2-one impaire plutôt que des paires a été clairement observée pour ces composés, suggérant que la combustion incomplète de la matière organique était la principale source ambiante dans cette région.

➤ **Analyse des fractions inorganiques des aérosols par (CI)**

Les concentrations des fractions inorganiques des aérosols sont résumées dans le tableau II.1. Les concentrations totales d'ions sont variées entre $3,61 \mu\text{g.m}^{-3}$ en décembre et $5,07 \mu\text{g.m}^{-3}$ dans Septembre. La majeure partie (65%) de la masse de la matière ionique était composé de SO_4^{2-} ; NO_3^- et NH_4^+ tandis que les autres ions ont déterminés, contribuent au reste de la masse.

De toutes les espèces ioniques mesurées, le sulfate était l'ion le plus abondant, avec des concentrations comprises entre $0,74 \mu\text{g.m}^{-3}$ (décembre) et $2,44 \mu\text{g.m}^{-3}$ (septembre). La plus forte concentration de SO_4^{2-} à l'automne, qui est comparable à celle de l'hiver, est très probablement causée par la réaction d'oxydation photochimique du SO_2 , accélérée par les températures élevées et le rayonnement solaire (Sun et al, 2004 ; Wang et al., 2005 ; Zhao et al., 2013). Les concentrations massiques de NH_4^+ s'étendaient de $0,15 \mu\text{g m}^{-3}$ à $0,90 \mu\text{g m}^{-3}$ et ont montré leur plus forte moyenne dans l'atmosphère pendant l'automne. Cette constatation peut s'expliquer par la conversion de NH_3 gazeux en NH_4^+ aqueux et dépend de la concentration des acides dans l'atmosphère, la température et la disponibilité de l'eau, ainsi que les taux de flux de NH_3 qui a probablement favorisé la formation de NH_4^+ en automne. Les concentrations de NO_3^- étaient comprises entre $0,95$ et $1,52 \mu\text{g.m}^{-3}$, avec des valeurs plus élevées en automne qu'en hiver, ce qui suggère que le NO_3^- s'est formé dans des environnements acides et pauvres en ammonium.

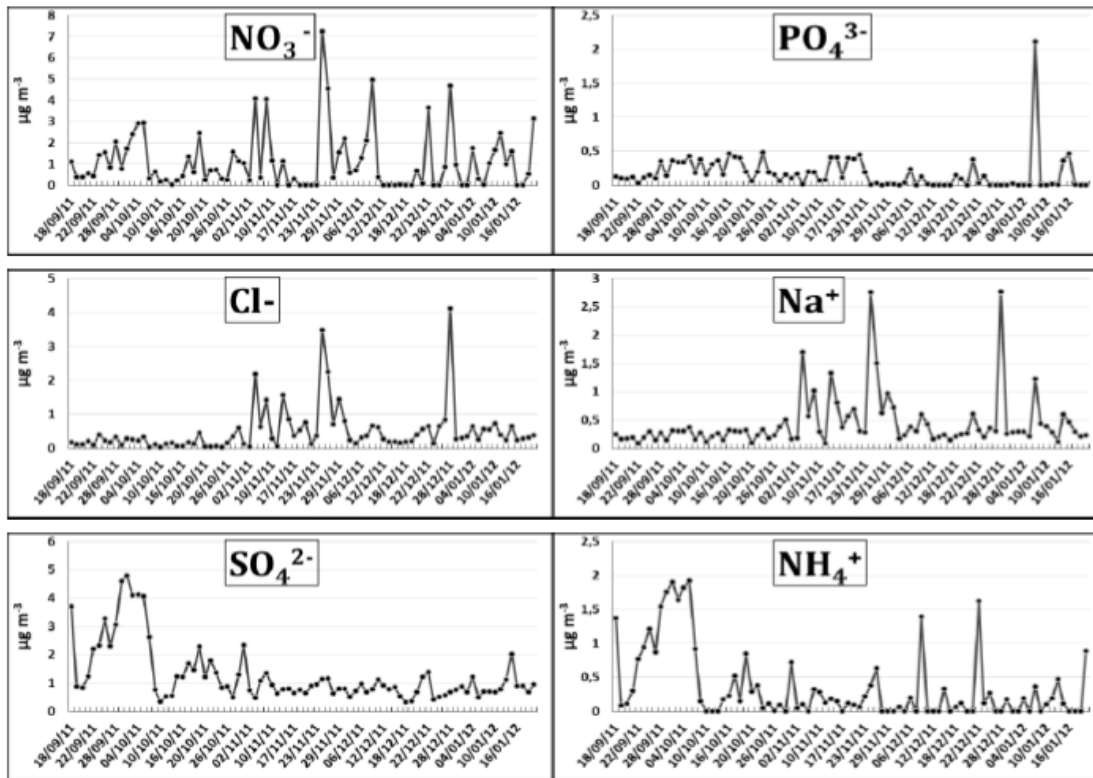


Fig. II.10. Séries chronologiques de concentration des principaux ions mesurées à Bou Ismail (2011–2012).

Les schémas de distribution des séries chronologiques de concentrations des ions Inorganiques sont présentés à la figure.II.10. La Comparaison des profils de NH_4^+ et SO_4^{2-} d'une part et Cl^- et Na^+ d'autre part semblent avoir une distribution similaire, ce qui suggère que ces espèces ont été globalement diffusées par les mêmes sources. Les concentrations les plus élevées de chlorure et de sodium ont été trouvées en hiver avec des valeurs maximales de 4,11 et 2,77 $\mu\text{g.m}^{-3}$ respectivement.

➤ Analyse de EC/OC par la thermo-optique

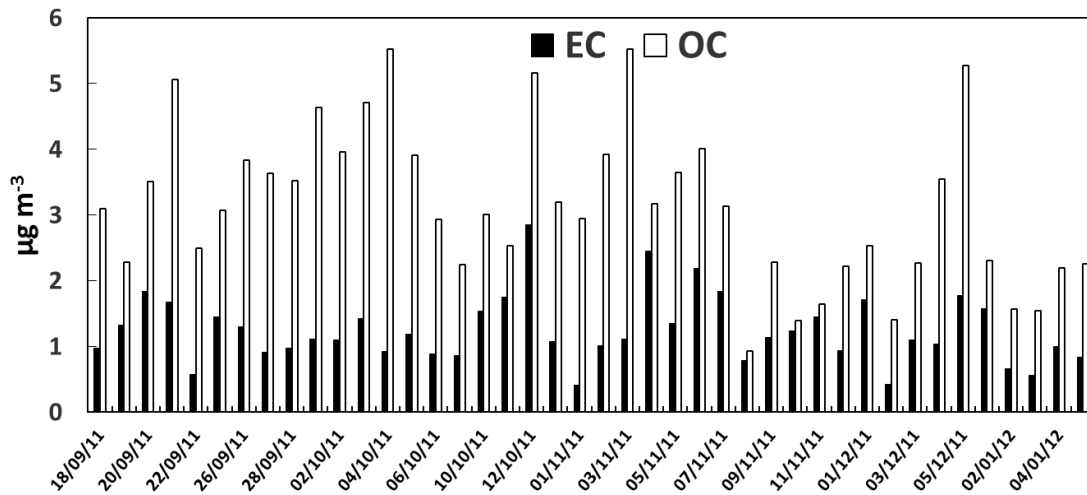


Fig. II.11. Série chronologique de concentration de matière carbonée (EC / OC) mesurée à Bou Ismaïl (2011–2012).

Les concentrations de la teneur en matières carbonées EC/OC des aérosols mesurées sur la côte de Bou Ismaïl se trouvent dans le tableau 1.

Dans cette étude, les concentrations moyennes quotidiennes de OC étaient entre 0,94 et 5,53 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ alors que les concentrations moyennes de la EC se situaient entre 0,41 et 2,85 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Par conséquent, TC les concentrations allaient de 1,72 à 8,02 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Dans l'ensemble, les évolutions du OC et des concentrations EC suivent un cycle mensuel très similaire tout au long de l'enquête période (Fig. II.11). Néanmoins, les concentrations moyennes enregistrées en octobre étaient légèrement élevées, avec des valeurs moyennes de 3,72 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour le OC et 1,36 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour la EC, tandis que Les valeurs minimales ont été obtenues en janvier, avec les valeurs EC = 0,93 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ et OC = 1,98 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

➤ Analyse des éléments métaux par rayons X

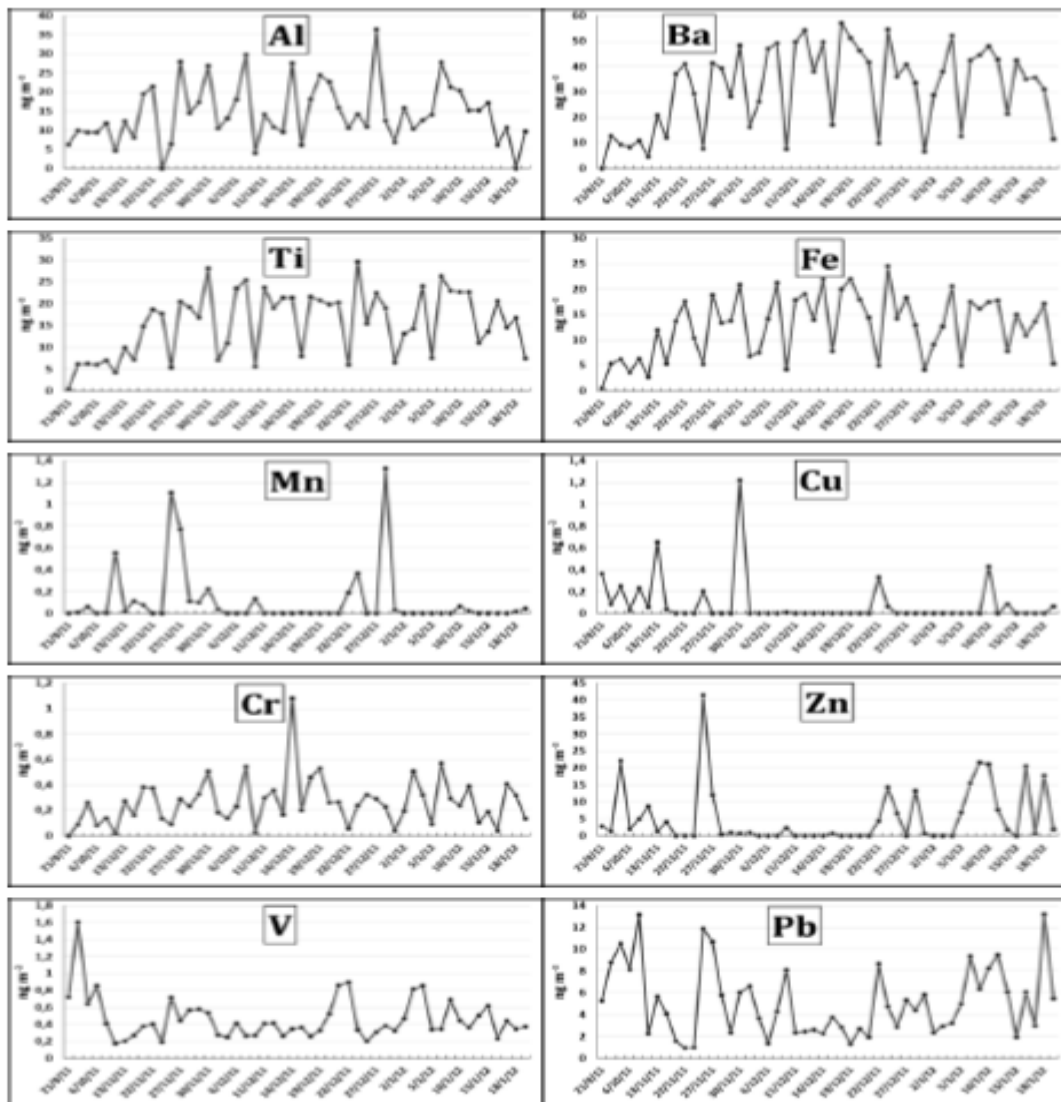


Fig. II.12.Séries chronologiques de concentration des principaux éléments métalliques mesurées à Bou Ismaïl (2011–2012).

La figure. II.12 et le tableau. II.1 illustrent les variations quotidiennes de toutes les traces des métaux mesurés lors de la campagne sur le terrain. Le métal-trace total les concentrations ont variés entre 42.6 ng.m^{-3} et 91.29 ng.m^{-3} . En dehors des dix métaux traces identifiés dans l'atmosphère de Bou Ismaïl, baryum (Ba), titane (Ti), aluminium (Al) et fer (Fe), sont les éléments métalliques les plus abondants, avec des concentrations quotidiennes de 36.66 ng.m^{-3} ($4.67\text{-}57 \text{ ng.m}^{-3}$), 17.35 ng.m^{-3} ($0.44\text{-}29.6 \text{ ng.m}^{-3}$), 15.83 ng.m^{-3} ($4.08\text{-}36.4 \text{ ng.m}^{-3}$), et 14.39 ng.m^{-3} ($0.56\text{-}24.4 \text{ ng.m}^{-3}$), respectivement. Le baryum est un élément majeur dans l'air autour de Bou Ismaïl et représente 37,6 % des concentrations moyennes totales des dix éléments étudiés. Sur la base des principales sources et des niveaux de concentration, Les métaux

peuvent être subdivisés en deux groupes : Premièrement, il y a les éléments de la croûte terrestre à forte concentration qui proviennent de la poussière, comme Al, Ti, Mn, Fe et Ba, tandis que le second (V, Cr, Zn, Cu et Pb) peuvent être globalement attribués à les éléments émis par le véhicule (carburant, combustion, frein et abrasion des pneus) et des sources industrielles (Pey et al., 2010). Il s'agit de noter que le Fe et le Mn peuvent tous deux être émis par d'autres sources, telles que le trafic routier et les émissions de combustibles fossiles, respectivement (Fomba et al., 2018).

II.3. Analyses physiques et optique des aérosols

Il est important de caractériser la distribution granulométrique des aérosols, cette dernière fournir des informations en particulier sur la transformation des aérosols au cours de leur vieillissement atmosphérique. Plusieurs techniques existent actuellement, telles que les compteurs optiques de particules, les compteurs de noyaux de condensation et les analyseur de mobilité électrique. Ces techniques sont basées sur des méthodes optiques et / ou électriques.

II.3.1. Détection de la lumière et télémétrie (Light Detection And Ranging, LIDAR)

Le Lidar est un procédé de détection à distance, utilisant un laser. Celui-ci émet une impulsion brève de lumière (de 5 à 500 ns, correspondant respectivement à des résolutions spatiales de 1 à 100 m), généralement monochromatique ($\Delta\lambda < 1$ nm), qui se propage dans l'atmosphère. Le rayonnement émis va interagir avec les particules et les molécules de l'atmosphère, le long de la ligne de visée. L'étalonnage de la concentration en aérosols du Lidar est effectué automatiquement par couplage avec les mesures photométriques. Une partie de l'intensité diffusée est renvoyée dans la direction opposée à l'impulsion laser initiale, on dit qu'elle est rétrodiffusée. Ce signal rétrodiffusé s'étale dans le temps, proportionnellement à la distance des différentes couches traversées.

Il est collecté à travers l'optique d'un télescope, et transformé par le système de détection optoélectronique en un signal électrique. Le lidar mesure l'intensité rétrodiffusée au cours du temps pour la caractérisation des aérosols et des gaz en fonction de l'altitude (z), et la fréquence du signal rétrodiffusé pour la mesure du décalage Raman et dans les lidars Doppler.

Il existe deux schémas de détection lidar :

- ✓ la détection incohérente ou directe pour l'analyse des aérosols ;
- ✓ la détection cohérente ou hétérodyne pour l'analyse de vent.

Pour les lidars à détection directe, le signal détecté est échantillonné à haute fréquence pour chaque impulsion, et cumulé dans un tableau. L'information temporelle, quant à elle, est multipliée par la vitesse de la lumière pour obtenir finalement le signal lidar en fonction de la distance. L'inversion de ce signal consiste à retrouver les profils des coefficients de rétrodiffusion et d'extinction de chaque couche atmosphérique.

Deux types de diffusions sont rencontrés :

- ✓ Une diffusion élastique se produit diffusé sans changement de fréquence sans échange d'énergie entre les photons incidents et la particule rencontrée. Le photon est alors diffus sans changement de fréquence au décalage du a l'effet Doppler près.
- ✓ une diffusion inélastique, appelée aussi diffusion Raman et se compose d'un photon par le milieu, qui retire (raie Stokes) ou ajoute (raie anti-Stokes) de l'énergie au photon et en modifie donc légèrement la fréquence. Cet échange provient de l'absorption ou de l'émission de quanta de vibration et rotation de la molécule, et est donc caractéristique du milieu [40].

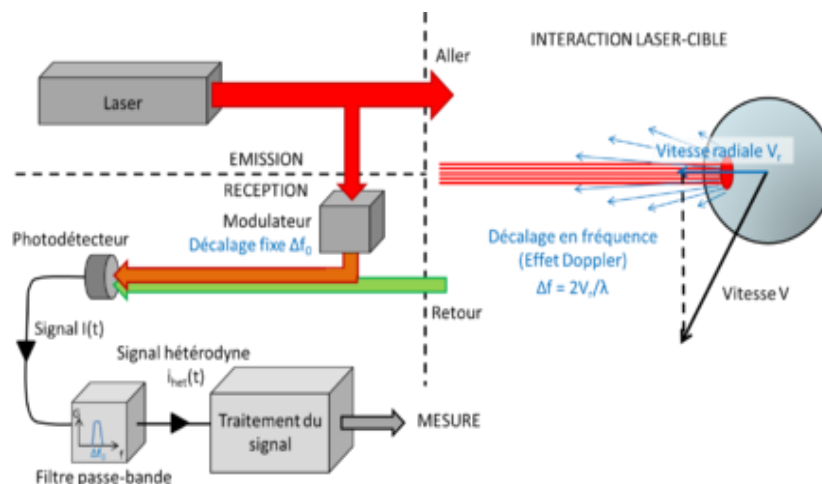


Fig. II.13. Principe de Lidar direct.

II.3.2. Spectrométrie de mobilité électrique (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS)

La charge électrostatique est une propriété importante des aérosols. La plupart des particules portent une charge électrostatique (naturelle ou artificielle) et sont plus ou moins chargées selon leur nature. Il est donc possible de mettre en ouvre cette force dans des conditions contrôlées afin de caractériser les aérosols [41].

Le SMPS est un appareil commercial permettant d'obtenir directement une distribution de la concentration des particules, en fonction de leurs diamètres, à partir d'un certain volume d'air prédéfini. Cette dispositif couple un classificateur électro statique appelé Analyseur Différentiel de Mobilité électrique (DMA) pour la sélection des particules suivant leur mobilité électrique et un Compteur de particules à condensation (CPC) placé en aval qui détecte les particules sélectionnées [42].

Cette méthode d'analyse, basée sur les propriétés électriques des aérosols peut être caractérisée par quatre étapes successives :

- ✓ le marquage des particules, leur conférant un nombre de charges portées et donc une mobilité électrique donnée,
- ✓ la séparation et la sélection des particules, reposant sur cette propriété,
- ✓ la détection des particules,
- ✓ l'inversion des données, permettant de déterminer la répartition granulométrique à partir de la distribution basée sur la propriété étudiée [41].

Le SMPS effectue l'analyse par une source radioactive de ^{85}Kr ionise l'atmosphère environnante en ions positifs et négatifs, les particules portant une charge élevée se déchargent en capturant des ions de polarité opposée et après un court moment, les particules atteignent l'équilibre de charges de sorte qu'à la fin du conditionnement, l'aérosol ne porte qu'une distribution bipolaire de charges. Ensuite, les particules atteignent la colonne du DMA pour la sélection. Les particules d'aérosol entrent dans la colonne du classificateur où elles sont soumises à un champ électrique induit par une différence de potentiel entre deux électrodes concentriques. Cette méthode est basée sur la capacité d'une particule aéroportée à se déplacer dans un champ électrique, ce qui est la définition même de la mobilité électrique. Enfin, les particules sélectionnées rejoignent le CPC pour y être comptées. Le résultat brut de la mesure est donc un nombre de particules comptées par unité de temps. Les SMPS commerciaux sont fournis avec un logiciel de post-traitement qui permet à partir de ces données brutes de remonter à la granulométrie en nombre des particules d'aérosol par le biais d'une inversion [41].

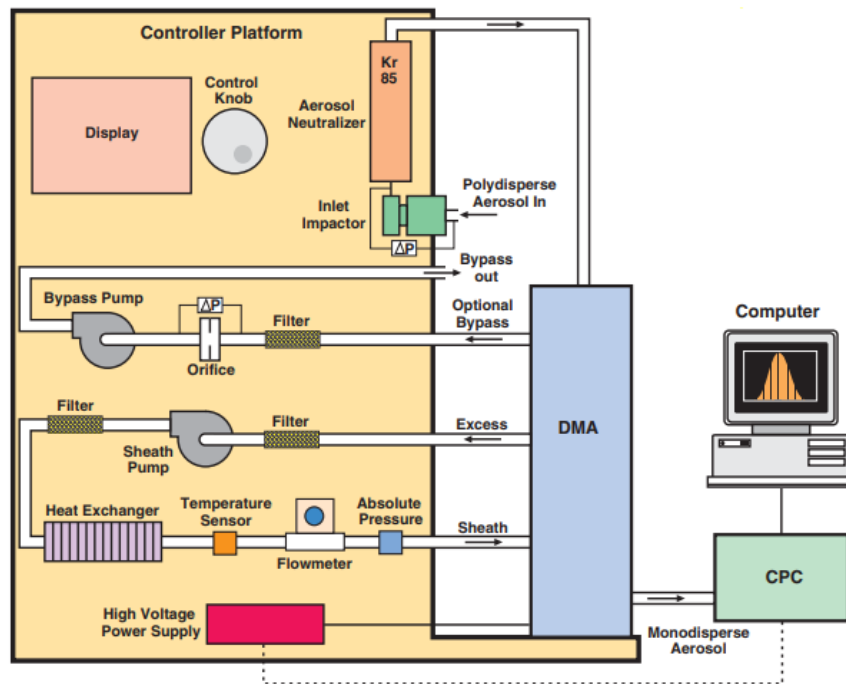


Fig.II.14. Schéma de fonctionnement de SMPS.

II.3.2.1. Analyseur de mobilité différentielle (Differential Mobility Analyser, DMA)

La première composante principale du SMPS est le DMA qui permet d'effectuer la séparation des particules selon leur taille.

La détermination de la distribution en taille d'un aérosol à l'aide de l'analyseur de mobilité différentielle (DMA) repose sur la charge et la sélection des particules selon leur mobilité électrique. L'électrode centrale, polarisée négativement ou positivement, attire les particules de charge opposée. Pour une tension appliquée, seules les particules dans la gamme de mobilité sélectionnée sortent par la fente percée en bas du cylindre intérieur.

Les particules de mobilité supérieure seront collectées sur la partie supérieure de l'électrode centrale, tandis que les particules moins mobiles sortiront par la sortie principale d'air en excès. Il existe donc une relation directe entre la tension appliquée et la gamme de mobilité sélectionnée [43].

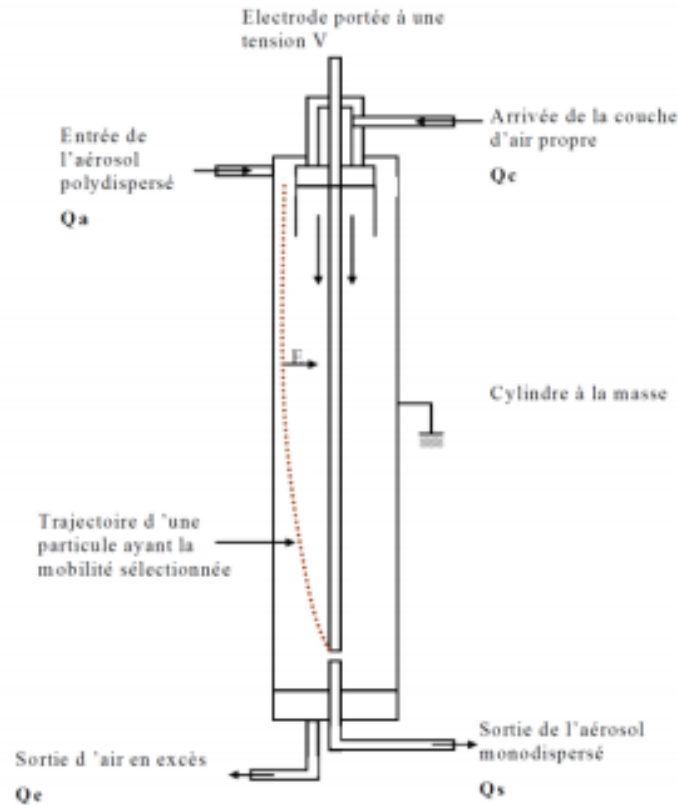


Fig.II.15. Schéma de principe du DMA.

II.3.2.2. Compteur de particules à condensation (Condensation Particle Counter, CPC)

La seconde composante du SMPS est le CPC, qui permet de déterminer la concentration des particules analysées. Le comptage est basé sur la mesure de la lumière diffusée par les particules dans l'appareil pour déterminer la concentration des particules analysées [44].

L'aérosol est aspiré dans le Compteur de particules à Condensation (CPC) à un débit de 0,3 l/m (litres par minute), puis injecté dans un saturateur partiellement rempli de butanol ($T=35^{\circ}\text{C}$) ou d'eau. Le butanol ou l'eau (selon le modèle utilisé) s'évapore dans le flux d'aérosol. Le gaz contenant les particules et les vapeurs entre ensuite dans un condenseur où la température est abaissée à 10°C . Ceci entraîne la sursaturation des vapeurs et leur condensation sur les particules dont le diamètre est supérieur au diamètre minimal de détection. La croissance des particules par condensation leur permet d'atteindre un diamètre supérieur à 300 nm afin d'obtenir une détection plus aisée. Elles peuvent alors être détectées optiquement grâce à une source de lumière blanche et à des photomultiplicateurs [45].

Finalement, le comptage optique des signaux diffusés par chaque particule passant devant une source laser interne à l'appareil pour ensuite terminer sa diffusion sur la photodiode, il est possible d'obtenir le compte des particules analysées.

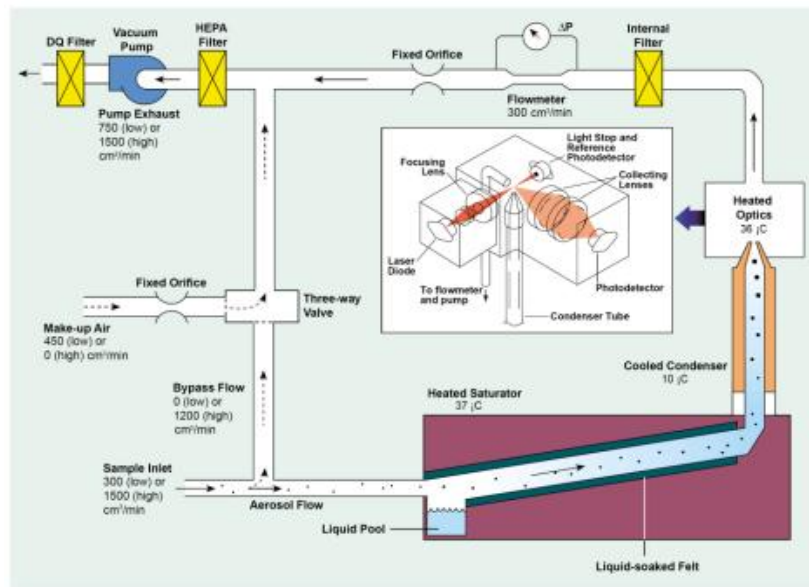


Fig. II.16. Schéma de principe du CPC.

II.3.2.3. Compteur optique de particules (Optical Particle Counter, OPC)

Lorsqu'une particule est éclairée par un faisceau lumineux elle réémet de la lumière dans toutes les directions de l'espace: c'est le phénomène de diffusion.

Les compteurs optiques de particules (OPC) sont de nos jours largement utilisés dans différents domaines industriels (contrôle de la pollution atmosphérique) du fait de leur capacité à déterminer la concentration numérique et la distribution en dimensions des particules en temps réel [41]. Ils utilisent le principe de la diffusion de la lumière par les aérosols pour effectuer leur classification en taille et permettent de déterminer la granulométrie de la fraction grossière de l'aérosol, c'est à dire comprise entre 400nm et 20µm.

Un rayon lumineux est focalisé sur un volume de mesure à travers lequel les particules en suspension passent une par une. La quantité de lumière diffractée ou absorbée par chaque particule est alors mesurée par un détecteur opto-électronique via un miroir placé à 90°. L'amplitude du signal est enregistrée dans différents canaux d'un analyseur « multi-canaux », ce qui permet ensuite d'en déduire la distribution en dimension.

Contrairement à un CPC, l'OPC mesure directement les particules, sans l'utilisation d'un saturateur suivi d'un condenseur, car les particules analysées par celui-ci ont un diamètre supérieur, donc elles sont plus aisées à analyser. De manière plus précise, l'OPC détecte les particules lorsqu'un signal dépasse le seuil de détection, car en-dessous de ce seuil, le signal

correspond au bruit de fond. Ce signal correspond à un signal d'une particule qui sera mesuré et combiné par l'OPC afin d'obtenir la distribution en taille des aérosols.

Ce principe de mesure ne s'applique pas à des particules de diamètre inférieur à 350 nm en raison de leur faible diffraction de la lumière. Un analyseur différentiel de mobilité électrique couplé à un compteur de noyaux de condensation (SMPS) permet de mesurer la granulométrie de la fraction plus fine de l'aérosol, c'est-à-dire comprise entre 5 et 350 nm [42].

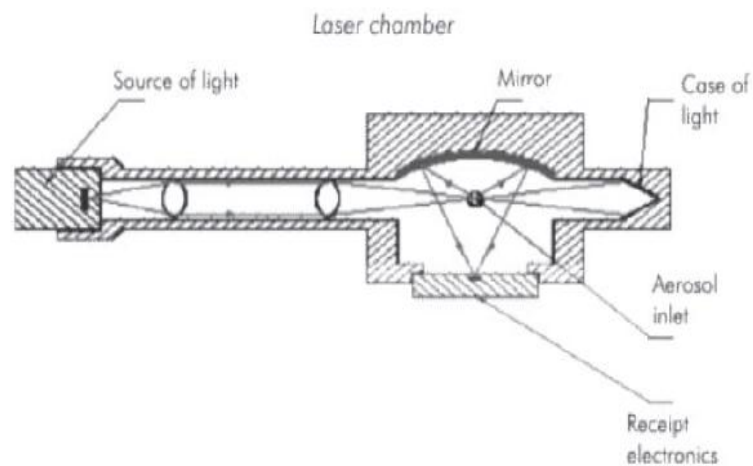


Fig. II.17. Principe de fonctionnement OPC.

Références :

- [1] Bliefert C, Perraud R. Chimie de l'environnement Air, Eau, Sols, Déchets 1ere édition 2e tirage. Edition Deboek, 2003,111.
- [2] Delmas R., Mégie G. et Peuch V. H., 2005. Physique et Chimie de l'Atmosphère, Edition Belin.
- [3] Frederick, J.E. 2011. Sciences de l'Atmosphère : Une introduction. De Boeck.
- [4] Le Treut H., Somerville R., Cubasch U., Ding Y., Mauritzen C., Mokssit A., Peterson T. A., Prather M. 2007. *Phy. Sci. Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [5] Masclet P. Pollution atmosphérique. Edition Ellipses marketing SA 2005, 14-15.
- [6] Kan, H., Chen, R., Tong, S. 2011. Ambient air pollution, climate change, and population health in China. *Environ. Inter.* 42, 10-19.
- [7] Ladji Riad. Analyse qualitative et quantitative des composés organiques volatils, semi-volatils et particulaires dans l'air. Thèse Doctorat. Université d'U.S.T.H.B ,06 Décembre 2009.
- [8] POULAIN Virginie. Evolution passée et future de la composition chimique stratosphérique et ses interactions avec le climat. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 12 avril 2013.
- [9] Hayman, G.D., Derwent, R.G, *Environ. Atmospheric Chemical Reactivity and Ozone-Forming Potentials of Potential CFC Replacements*. *Sci. Technol.* 1997, 31, 327-336.
- [10] Claude, Chabot. Effets des pluies acides sur les écosystèmes forestiers - impact sur les peuplements d'épinettes au Québec. Mémoire de maîtrise en environnement. Université de sherbrooke faculté des sciences appliquées, Avril 1981.
- [11] Finlayson-Pitts B. J., Pitts J. N. 2000. *Chem. atmos*. Academic Press, ed.
- [12] Ladji R., Yassaa N., Balducci C., Cecinato A., Meklati B. Y. 2009. Annual variation of particulate organic compounds in PM10 in the urban atmosphere of Algiers. *Atmos. Res.* 92, 258-269.
- [13] Marchand N. 2003. Etude de la composante organique de l'aérosol atmosphérique : cas de deux vallées alpines (Chamonix et Maurienne) et développement analytique. Thèse de doctorat, Université de Savoie.
- [14] Liousse C., Penner J. E., Chuang C., Walton J. J., Eddleman H. et Cachier H. 1996. A global three-dimensional model study of carbonaceous aerosols. *J. Geophys. Res.* 101, 19411-19432.

- [15] Masclet, P., Cachier, H. L'aérosol atmosphérique. Caractéristiques physico-chimiques. Laboratoire TEPE (Transferts et Effets des Polluants dans l'Environnement), Équipe LESAM (Études des Systèmes Atmosphériques Multiphasiques), ESIGEC – Université de Savoie, 73376 Le Bourget du Lac, France.
- [16] Shauer, J. J.; Rogge, W. F.; Hildemann, L. M.; Mazurek, M. A.; Cass, G. R.; Simoneit B. R. T. *Atm. Env.* **1996**, *30*, 3837-3855.
- [17] Rogge W. F., Hildemann L. M., Mazurek M. A., Cass G. R. 1993. Sources of fine organic aerosol. 3. Road dust, tire debris, and organometallic brake lining dust: roads as source and sinks. *Environ. Sci. Technol.* *27*, 1892–1904.
- [18] McDonald R. D., Zielinska B., Fujita E. M., Sagebiel J. C., Chow J. C., Watson J. G. 2000. Fine particle and gaseous emission rates from residential wood combustion. *Environ. Sci. Technol.* *34*, 2080-2091.
- [19] Jung J., Hong S.B., Chen M., Hur J., Jiao L., Lee Y., Park K., Hahm D., Choi J.O., Yang E.J., Park J., Kim T.W., and Lee S.H. 2020. Characteristics of methanesulfonic acid, non-sea-salt sulfate and organic carbon aerosols over the Amundsen Sea, Antarctica. *Atmos. Chem. Phys.* *20*, 5405–5424,
- [20] Bruno Guillaume. Les aérosols : émissions, formation d'aérosols organiques secondaires, transport longue distance-zoom sur les aérosols carbonés en Europe. Thèse doctorat. Université de toulouse 3,26 Janvier2006.
- [21] Masclet P.C, H.Cachier, « L'aérosol atmosphérique », analysis magazine, 1998, 26, N°09 pp.11-17.
- [22] Kathrine Anderson. Predicting the Weather: Victorians and the Science of Meteorology. éditions Deboeck 2005.
- [23] Grosjean, D.; Friedlander, S. K. *Adv. Env. Sci. Technol.* 1980, *9*, 435-473.
- [24] Blando J. D., Turpin B. J. 2000. Secondary organic aerosol formation in cloud And fog droplets: a literature evaluation of plausibility. *Atmos. Environ.* *34*, 1623-1632
- [25] Malm W. C., Day D. E., Kreidenweis S. M., Collett J. L., Lee T.. 2003. Humidity dependent optical properties of fine particles during the Big Bend Regional Aerosol and Visibility Observational Study, *J. Geophys. Res.*, 108(D9), 4279, doi:10.1029/2002JD002998.
- [26] R. Martin D.J. Jacob R.M. Yantoscal M. Chin, P. Ginoux. 2003. Global and regional decreases in tropospheric oxidants from photochemical effects of aerosols, *J. Geo. phys. Res.* 108, doi:10.1029/2002JD002622.
- [27] Sitaras I. E., Siskos P. A. 2008. The role of primary and secondary air pollutants in atmospheric pollution: Athens urban area as a case study. *Environ. Chem. Let.* *6*, 59–69.

- [28] Sylvie ,OLLITRAULT. COP 21, ONG et état d'urgence, p4.
- [29] Christopher J. RHODES. doi:10.3184/003685016X14528569315192 , The 2015 Paris Climate Change Conference: COP21.
- [30] Note technique du Secrétariat Général de la CRPM – Les conclusions de la COP21 et leur pertinence pour les Régions de la CRPM - Réf.CRPMNTP160006 A0 – Février 2016.
- [31] Achala Abeysinghe, Brianna Craft et Janna Tenzing. L'Accord de Paris et les PMA, L'analyse des résultats de la COP21 au regard des positions des PMA. Dossier, Mars 2016, p10.
- [32] Olivier, Godard. Directeur de recherche honoraire au CNRS(*). Quel bilan pour la COP21.
- [33] D'argouges Odile. Mise en place d'une mesure rapide de la composition chimique de l'aérosol en zone urbaine : étude en mégapoles. Thèse Doctorat. Université de PARIS VII – Denis Diderot, 6 novembre 2009.
- [34] Carre J., Monier P. Evaluation des méthodes rapides d'analyse des composés organiques dans les terres polluées. Rapport final juillet 2006, N° 03-0509/1A.
- [35] van Pinxteren, M., Fiedler, B., van Pinxteren, D., Iinuma, Y., Körtzinger, A. and Herrmann, H. (2015). Chemical characterization of sub-micrometer aerosol particles in the tropical Atlantic Ocean: Marine and biomass burning influences. *J. Atmos. Chem.* 72: 105–125. [https://doi.org/ 10.1007/s10874-015-9307-3](https://doi.org/10.1007/s10874-015-9307-3)
- [36] Tremblay Samantha. Caractérisation des propriétés chimiques, physiques et optiques des matières particulaires atmosphériques dans le Grand Nord canadien. Thèse de Doctorat. Université de Montréal, Décembre, 2017.
- [37] El Haddad Imad. Fraction Fractions primaire et secondaire de l'aérosol organique : Méthodologies et application à un environnement urbain méditerranéen, Marseille. Thèse Doctorat. Université de Provence, 17 janvier 2011.
- [38] Mesradi Mohammed Reda. Mesures expérimentales et simulation Monte Carlo de la fonction de réponse d'un détecteur Si(Li) : application à l'analyse quantitative multi-élémentaire par XRF et PIXE. Thèse Doctorat. Université de Strasbourg, 15 mai 2009.
- [39] Khedidji, S., Müller, K., Rabhi, L., Spindler, G., Fomba, K. W., van Pinxteren, D., ... & Herrmann, H. (2020). Chemical Characterization of Marine Aerosols in a South Mediterranean Coastal Area Located in Bou Ismail, Algeria. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(11), 2448-2473.
- [40] Cariou, Jean-Pierre et Sauvage Laurent. Les lidars atmosphériques. Reflets de la physique, 2010, no 21, p. 76-82.

- [41] Marris Hélène. Métrologie de la fraction fine de l'aérosol métallurgique: apport des techniques micro-analytiques (microspectrométrie X et spectroscopie de perte d'énergie des électrons). Thèse de doctorat. Université du Littoral Côte d'Opale, 19 octobre 2012
- [42] Coquelin L., Fischer N., Ebrard G., Macé T., Motzkus C., Gensdarmes F., Le Brusquet L., Fleury G. 2012. Détermination de la distribution granulométrique d'un aérosol par technique SMPS: comparaison de modèles et simulations. Rapport Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE), 28 Septembre 2012.
- [43] Hamidi, Assia. Développement d'un chargeur    décharge couronne pour la mesure à 10 Hz de la concentration d'un aérosol atmosphérique. Diss. Paris 11, 2014.
- [44] Lefevre Guillaume. Caractérisation des propriétés radiatives des nanoparticules de suie en présence de composés organiques. 2018. Thèse de doctorat.
- [45] TSI; Incorporated, Model 3772/3771 Condensation Particle Counter, Operation and Service Manual, P/N 1980529. **2007**.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

La prise de conscience du changement climatique et de ses conséquences planétaires n'a pas permis jusqu'à présent de réduire l'incidence des activités humaines sur le climat.

En terme générique, L'aérosol atmosphérique rassemble en fait un grand nombre de particules différentes, tant au niveau de leurs origines (naturelle ou anthropiques), de leurs compositions chimiques (minérales ou organiques), de leurs tailles (particules grossières ou fines), que de leurs comportements physico-chimiques.

Cette grande diversité impose d'une part d'utiliser des méthodes de mesures adaptées au "type" d'aérosols que l'on souhaite étudier et d'autre part, de faire un grand nombre de mesures différentes en même lieu afin d'étudier les interactions entre les espèces.

Les aérosols atmosphériques malgré leur rôle important dans le système climatique de la terre, leur influence sur le changement climatique est encore très mal connue.

Les impacts sanitaires et climatologiques des aérosols sont largement démontrés sur le plan qualitatif, mais de grandes incertitudes demeurent sur le plan quantitatif. La fraction élémentaire de la matière carbonée (EC) a tendance à augmenter l'effet de serre. Les effets de la fraction organique (OC) sont plus complexes, semblent plus intenses et en sens inverse, mais les incertitudes sont très fortes.

La planète respire, Un accord équilibré (COP21) a été signé pour engager la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ils sont engagés à réduire leurs émissions de GES pour limiter le réchauffement à 1,5°C, transparence et communication sur les émissions, l'adaptation et le financement de la lutte contre le réchauffement.

Résumé :

Les aérosols atmosphériques jouent un rôle important dans le système climatique de la terre. Ils sont aussi à l'origine de certains problèmes de pollution atmosphérique en zone urbaine. Toutefois, leur influence sur le changement climatique global, de même que leur propriétés chimiques en zone urbaine, sont encore très mal connues.

Le changement climatique est l'un des plus grands enjeux environnementaux auxquels nos sociétés auront à faire face et devront répondre à la fois à l'échelle du globe et aux échelles régionales par des politiques de développement durable tels que les sommet de la terre ; COP21 (Paris 2015) ;COP20 (Lima 2014) ;COP19 (Varsovie 2013) et COP18 (Doha 2012). Une augmentation, même limitée, de la température moyenne de la terre aurait des conséquences importantes sur l'agriculture, les forêts et les cycles hydrologiques et sur la biosphère. Une description précise de la composition chimique de l'atmosphère est à présent requise pour faire face à de nombreux enjeux environnementaux, que ce soit à l'échelle globale (changement climatique, capacité oxydante de la troposphère, trou d'ozone stratosphérique), régionale (pollution transfrontière) ou locale (accident industriel, qualité de l'air urbain).

Afin de caractériser ces aérosols, Nous avons cités CG/MS, CI, la thermo-optique, l'AMS, XRF pour l'analyse des propriétés chimique ; LIDAR, puis SMPS et L'OPC pour la caractérisation physico-optique.

Mots –clés : aérosols ; pollution atmosphérique ; changement climatique ; COP21 ; CG/SM

Abstract :

Atmospheric aerosols play an important role in the earth's climate system. They are also the source of certain air pollution problems in urban areas. However, their influence on global climate change, as well as their chemical properties in urban areas, are still very poorly understood.

Climate change is one of the greatest environmental challenges that our societies will have to face and will have to respond both globally and at regional scales through sustainable development policies such as the Earth Summits; COP21 (Paris 2015); COP20 (Lima 2014); COP19 (Warsaw 2013) and COP18 (Doha 2012). Even a small increase in the earth's average temperature would have important consequences for agriculture, forests and hydrological cycles, and for the biosphere. A precise description of the chemical composition of the atmosphere is now required to face many environmental challenges, whether on a global scale (climate change, oxidizing capacity of the troposphere, stratospheric ozone hole), regional (transboundary pollution) or local (industrial accident, urban air quality).

In order to characterize these aerosols, We have cited CG / MS, CI, thermo-optics, AMS, XRF for the analysis of chemical properties; LIDAR, then SMPS and L'OPC for the physico-optical characterization.

Keywords: aerosols; atmospheric pollution ; climate change ; COP21; CG / SM